

LUCAS RAFAEL BIGARDI

**ÁRVORES NA PASTAGEM MELHORAM A QUALIDADE DO SOLO E DE
FORRAGENS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

T

B592a Bigardi, Lucas Rafael, 1985-
2016 Árvores na pastagem melhoram a qualidade do solo e de
forragens / Lucas Rafael Bigardi. – Viçosa, MG, 2016.
x, 61f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Agrossilvicultura. 2. Arborização. 3. Agroecologia.
4. Plantas para conservação do solo. 5. Física do Solo.
6. Química do Solo. 7. Pastagens - Produtividade.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Agroecologia. II. Título.

CDD 22 ed. 634.99




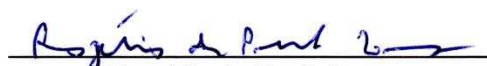
LUCAS RAFAEL BIGARDI

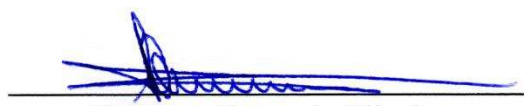
**ÁRVORES NA PASTAGEM MELHORAM A QUALIDADE DO SOLO E DE
FORRAGENS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

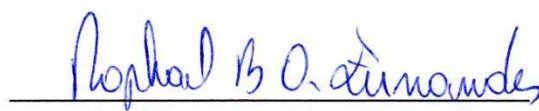
APROVADA: 19 de dezembro de 2016.


Felipe Nogueira Bello Simas


Rogério de Paula Lana


Teogenes Senna de Oliveira
(Coorientador)


Irene Maria Cardoso
(Coorientadora)


Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

Dedico esse trabalho

Aos meus pais,
Décio e Sueli,
por serem a base de minha vida,

À minha companheira Ananda Deva,
por estar ao meu lado na caminhada,

Às minhas queridas filhas,
Clara e Luna,
seres de luz e inspiração

AGRADECIMENTOS

Por essa realização, agradeço a Deus, por me dar força, saúde e sabedoria.

À família, por todos os saberes ancestrais e apoio nas escolhas da vida.

Agradeço aos agricultores e agricultoras familiares da Zona da Mata, que no dia-a-dia demonstram sua força e resiliência. Às organizações da agricultura familiar de Divino e Araponga, por darem apoio fundamental à execução desse trabalho.

Às famílias dos agricultores Alexandre, Edimar e Neimarcos, por abrirem suas porteiras para a realização da pesquisa.

Ao grupo de extensão e pesquisa “Animais para a Agroecologia”, onde pude vivenciar momentos de muito aprendizado e reflexão, especialmente à professora Paula, que muito contribuiu para a minha formação acadêmica e pessoal

Aos técnicos do Laboratório de Física do Solo-UFV, ao Cláudio, que contribuiu de forma muito prestativa na execução das análises.

Aos professores Anôr Fiorini e Ivo Jucksh, pelas valiosas experiências compartilhadas. Ao professor Teogenes Senna pela orientação, aprendizados e cobrança nos momentos necessários, ao professor Rogério Lana, pela colaboração e por sua dedicação aos trabalhos com a agropecuária sustentável.

Minha imensa gratidão à Irene, grande educadora e pessoa humana, por toda a sua dedicação à formação dos estudantes, à agroecologia e à agricultura familiar, sou grato pelos ensinamentos, orientações e conselhos de grande valor.

Ao professor Raphael, por ter orientado esse trabalho com serenidade e competência.

Agradeço a amizade dos que fizeram parte desse processo, ao Diego, por estar presente no campo da pesquisa, à Silvia, pelo apoio e partilha de experiências, aos meus amigos Tommy, Luisa e família pelo companheirismo.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia pela oportunidade, à CAPES pela bolsa de pesquisa e à FAPEMIG (APQ-03062-13) pelo recurso disponibilizado para a execução desse trabalho.

Minha gratidão especial aos meus pais, Décio e Sueli, à minha irmã Patrícia, pela vida e apoio incondicional. À minha companheira Ananda, por estar ao meu lado nesse caminho de aprendizado e às minhas queridas filhas Clara e Luna.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram positivamente com esse trabalho.

BIOGRAFIA

Luca Rafael Bigardi, filho de Décio Aparecido Bigardi e Aparecida Sueli da Luz Bigardi, nasceu em Jundiaí-SP, no dia 12 de fevereiro de 1985.

Após participar do Estágio Interdisciplinar de Vivência – EIV Regional, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa no ano de 2008.

Durante o período de graduação, teve a oportunidade de vivenciar inúmeras experiências no universo da agricultura familiar e da agroecologia na Zona da Mata Mineira.

Nesse período, atuou em diversos projetos acadêmicos, participando do programa TEIA e do grupo de pesquisa e extensão “Animais para a Agroecologia”, desenvolvendo trabalhos voltados para os sistemas agroflorestais e o manejo da criação animal integrada aos agroecossistemas diversificados, sob a ótica da multidisciplinariedade e da construção coletiva do conhecimento.

Durante essa formação, teve contato direto com a agricultura familiar da região, sua cultura e seus inúmeros saberes/fazeres, o que lhe permitiu ter uma visão da realidade agrária local para além dos conhecimentos técnicos e científicos da academia, tendo experiências não só de formação profissional como também lições de vida e de cuidado com a terra e com o ambiente.

No ano de 2014, ingressou como estudante de mestrado no curso de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa, onde deu prosseguimento aos trabalhos envolvendo a criação animal agroecológica, realizando, em dezembro de 2016, sua defesa de dissertação para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPITULO 1	10
QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM PROPRIEDADES RURAIS DE AGRICULTURA FAMILIAR	10
1.INTRODUÇÃO.....	10
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1. Caracterização das áreas de estudo	13
2.2. Pontos de amostragem e procedimentos de coletas	15
2.3. Atributos químicos do solo	17
2.4. Atributos Físicos do solo	17
2.4.1. Análise granulométrica e Argila dispersa em água (ADA) e Índice de Floculação (IF)	17
2.4.2. Densidade (Ds), Densidade de partículas (Dp), Densidade Máxima (Dmax) e Densidade Relativa (Drel) do Solo	17
2.4.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo	18
2.4.4. Resistência do solo à penetração	18
2.4.5. Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados	19
2.4.6. Curva de retenção de água no solo (CRA)	20
2.5. Análise estatística	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1. Atributos químicos do solo	22
3.2. Atributos Físicos do solo	25
3.2.1. Análise granulométrica, Argila dispersa em água (ADA) e Índice de Floculação (IF).....	25
3.2.2. Densidade do solo, densidade de partículas, densidade máxima e relativa do solo	26
3.2.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo.....	29

3.2.4. Resistência do solo à Penetração	31
3.2.5. Correlação entre atributos físicos do solo	33
3.2.6. Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados	35
3.2.7. Curva característica de água no solo	36
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
CAPÍTULO 2	43
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FORRAGEM EM SISTEMAS SILVIPASTORIS	43
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1. Caracterização das áreas de estudos e do componente arbóreo e forrageiro nas pastagens	45
2.2. Amostragem, coleta e processamento de amostras	47
2.3. Análise de qualidade da forragem	48
2.4. Análise Estatística	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
CONCLUSÕES GERAIS	60

RESUMO

BIGARDI, Lucas Rafael, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Árvores na pastagem melhoram a qualidade do solo e de forragens.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Teogenes Senna de Oliveira e Irene Maria Cardoso.

A busca por formas de uso da terra que possam conciliar aspectos produtivos com a conservação do solo é atualmente um dos principais desafios enfrentados pela atividade agropecuária. Tal desafio se justifica pelos processos de degradação desencadeados pela intensificação tecnológica vivenciada pelo setor nas últimas décadas. No Brasil, uma das formas mais impactantes de exploração dos solos agrícolas é pela atividade pecuária, especialmente a bovinocultura. As pastagens, pelo seu caráter de exploração, contribuem significativamente para a degradação do solo, além de exercer forte pressão ambiental pela ocupação de grandes áreas. Uma das formas de minimizar tais efeitos é elevar a biodiversidade nessas áreas. Nas áreas de Mata Atlântica, o manejo do componente arbóreo pode contribuir positivamente para a melhoria das condições físicas do solo, além de proporcionar benefícios econômicos e ambientais pela ciclagem de nutrientes, pelo aporte de matéria orgânica e pelo aumento da biodiversidade associada. No presente trabalho, avaliou-se o efeito das árvores em termos de qualidade química e física do solo e de produtividade das pastagens em três propriedades da agricultura familiar da Zona da Mata de Minas Gerais. Os tratamentos adotados foram: CA) influência do componente arbóreo sob a copa das árvores; FCA) influência do componente arbóreo fora da copa das árvores e PS) pastagem em monocultivo a pleno sol. As análises físicas foram realizadas na profundidade de 2,5 a 7,5cm, enquanto as análises químicas foram avaliadas na profundidade de 0 a 20 cm. Os dados de química do solo demonstraram que as árvores na pastagem proporcionaram elevação nos teores de carbono orgânico do solo, maiores teores de nutrientes, bem como melhores condições para retenção e disponibilidade dos mesmos para a absorção de plantas, com elevação da soma de bases e da capacidade de troca catiônica do solo. Os atributos físicos do solo também foram positivamente influenciados pelo componente arbóreo, que proporcionaram menor densidade do solo, maior volume de poros, especialmente de macroporos, menor resistência mecânica do solo à penetração, além de menor densidade relativa quando comparados com a pastagem a pleno sol. Sobre a dinâmica da água no solo, a pastagem arborizada também apresentou maior capacidade de retenção e armazenamento de água na profundidade avaliada, condição essa observada pela curva característica de água no solo. Em termos de

produtividade e qualidade da forragem, os sistemas silvipastoris proporcionaram elevação da produtividade de matéria seca por hectare. Em termos de qualidade, observou-se que a forragem coletada nos sistemas silvipastoris apresentou menor teor de matéria seca, maior teor de proteína bruta (PB) e menor teor de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), um dos limitantes ao consumo voluntário quando em excesso, além de tendência a maior acúmulo de minerais (Ca, Mg, P, K e S) na forragem coletada nos sistemas silvipastoris. Tais resultados demonstram o potencial dos sistemas silvipastoris na melhoria da qualidade do solo aliada à elevação da produtividade e da qualidade da forragem, gerando assim benefícios econômicos e ambientais na prática agropecuária.

ABSTRACT

BIGARDI, Lucas Rafael, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Pasture trees improve soil and forage quality.** Advisor: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisors: Teogenes Senna de Oliveira and Irene Maria Cardoso

Land use proposals searching that can conciliate productive aspects and soil conservation is currently one of the main challenges faced by agricultural and livestock activity. This challenge is justified by the degradation processes initiated with the technological intensification experienced by the sector in last decades. In Brazil, one of the most relevant forms of land use of agricultural soils is with livestock activity, especially cattle farming. Because its management, pastures contribute significantly to the soil degradation, besides causing strong environmental pressure by the occupation of large areas. One option to minimize such impacts is to increase biodiversity in these areas. In the Brazilian Atlantic Forest region, the management of the tree component can contribute positively to the improvement of the soil physical conditions, besides providing economic and environmental benefits through cycling of nutrients, input of organic matter and increasing associated biodiversity. In the present study, the effect of the trees on chemical and physical soil quality and pasture productivity was evaluated, in three family farms in the Zona da Mata of Minas Gerais, Brazil. The treatments evaluated were: CA) influence of the arboreal component under the tree's canopy; FCA) influence of the arboreal component outside the tree's canopy and PS) pasture in full-sun monoculture. The soil physical analysis were performed at 2,5 to 7,5 cm depth, while the chemical soil analysis were performed at 0 to 20 cm depth. The soil chemical data showed the trees in the pasture increased the soil organic carbon contents, nutrient contents, and also improved its retention and availability for plant absorption, increasing sum of basis and cation exchange capacity. The soil physical attributes were also positively influenced by the tree component, which promoted lower soil bulk density, higher pore volume, specially macropores, lower soil penetration resistance and lower soil relative density in comparison with the full-sun pasture. Concerning soil water dynamics, trees in pasture also showed higher water retention and storage capacity as indicated by soil water retention curves. Forage productivity and quality in silvopastoral systems provided more dry matter production per hectare. About quality, forage produced on the silvopastoral systems presented lower dry matter content, as well as higher crude protein (CP) and lower neutral detergent insoluble fiber (NDF) contents, one of the feeding limitations

when in excess in the animal diets. A trend of higher accumulation of nutrients (Ca, Mg, P, K and S) in the forages collected on silvopastoral systems was verified. Results demonstrate the potential of silvopastoral systems for the soil quality improvement and to increase forage productivity and quality, generating economic and environmental benefits in agricultural practices.

INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo das últimas décadas, muitas pesquisas têm sido realizadas na agricultura visando o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias. Várias iniciativas neste sentido são normalmente denominadas de modernização da agricultura, processo intensificado a partir da década de 1970. Entretanto, essa modernização da agricultura tem causado problemas de ordem social, ambiental e econômica, com prejuízos diretos e indiretos à sociedade, gerando ainda externalidades negativas, que normalmente não são consideradas pelo modelo de desenvolvimento predominante (Felix et al., 2010).

Como parte do aporte tecnológico preconizado na dita modernização, o uso de insumos industriais e o preparo intensivo do solo são práticas comuns, o que têm causado perda de qualidade do solo (Telles et al., 2011) e da água. A conservação dos solos agrícolas e da água é de fundamental importância para a manutenção da vida terrestre. O solo, além de dar suporte à produção de alimentos, fibras e de outros recursos (Branco & Cavinatto, 1999), é também o componente responsável pela oferta regular de água doce, dado que é pela recarga hídrica do solo, o que mantém o abastecimento de rios e nascentes.

As práticas agrícolas devem buscar minimizar os efeitos relacionados à perda de qualidade solo e da água. Essas práticas devem ser orientadas no sentido de manter a cobertura permanente e o aporte contínuo de matéria orgânica ao solo, o que favorece a infiltração da água e minimiza o escoamento superficial, retardando assim percurso da água das chuvas até seu destino, que é o retorno aos cursos d'água. Esse processo permite não só o abastecimento do lençol freático, como também a própria conservação do solo. Uma boa infiltração de água é favorecida em solos com boas condições físicas, o que significa basicamente conservar sua estrutura. Solos com camadas compactadas, devido à quebra de sua estrutura e conseqüentemente diminuição de sua porosidade, dificulta a infiltração de água no perfil e favorecem o escoamento superficial.

Em função das diversas formas de degradação promovidas por certas práticas agropecuárias, estratégias de manejo que minimizem os impactos negativos e que proporcionem ganhos ambientais, sociais e econômicos merecem atenção e devem ser estudadas e incentivadas. Estas estratégias são especialmente necessárias em pastagens.

No Brasil, estima-se que 170 milhões de hectares sejam ocupados por áreas de pastagens, sendo cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas (IBGE, 2012). Apesar do custo relativamente baixo de manutenção e do baixo custo relativo do pasto enquanto fonte de alimento, normalmente inferior a um terço do custo de outras fontes de alimento como rações e silagem (Fonseca & Martuscello, 2010), raramente as pastagens recebem tratamentos culturais adequados, resultando em baixo rendimento, com consequente degradação. Estima-se que mais de 50 % das áreas de pastagem no Brasil encontram-se em algum estágio de degradação (Zimmer et al., 2012).

O Estado de Minas Gerais possui 18,2 milhões de hectares ocupados por pastagens, que representa 31 % da área total do estado (SEAPA-MG, 2014). Das pastagens plantadas, ao menos 1,2 milhão de hectares são consideradas degradadas (SEAPA-MG, 2014). O estado possui o maior número de vacas ordenhadas (5,7 milhões) no Brasil e a maior produção total de leite, com cerca de 8,5 bilhões de litros produzidos anualmente, o que representa 27 % da produção nacional (IBGE, 2011). Apesar da relevância econômica da pecuária leiteira do estado, a produtividade média do rebanho é extremamente baixa, com cerca de 5,14 L/vaca/dia.

A Zona da Mata de Minas Gerais, uma das 12 mesorregiões do estado, localiza-se em área predominada pelo bioma Mata Atlântica, o quinto *hotspot* de biodiversidade do planeta (Ribeiro et al., 2011). Essa mesorregião possui, historicamente, tradição na atividade agropecuária, com predomínio da cafeicultura, que foi sendo gradativamente substituída pela exploração pecuária a pasto, e que hoje ocupa grande parte de seu território agrícola. Na região, normalmente as áreas destinadas ao pasto estão em relevo declivoso e em solos com baixa concentração de nutrientes e acidez elevada. Com isso as pastagens em monocultura possuem baixa capacidade de fornecer nutrientes necessários para as plantas forrageiras mais exigentes, além de apresentarem teores tóxicos de alumínio, o que impede o crescimento adequado do sistema radicular (Queiroz et al., 2010). Tais características, no entanto, são comuns aos solos tropicais, especialmente à classe dos Latossolos, que são bastante intemperizados e bem desenvolvidos quanto à sua estrutura e horizontes diagnósticos.

Para os que entendem os solos tropicais apenas como mero meio físico no qual as raízes de plantas desenvolvem-se à base de água e nutrientes, uma generalização equivocada pode ser assumida, de que esses solos são essencialmente pobres e de baixa fertilidade natural, uma concepção amplamente aceita na pesquisa e extensão rural, e que

tem levado à implementação mandatória de técnicas de manejo muitas vezes inadequadas, como o preparo intensivo do solo e alto aporte de fertilizantes químicos industriais e agrotóxicos. Essa concepção está associada, portanto a um pacote tecnológico que tem levado à degradação desses solos, uma vez que desconsidera a natureza da vegetação original da região, adaptada às essas condições, bem como a dinâmica de nutrientes e de água nesses ambientes, muito dependentes da manutenção e ciclagem da matéria orgânica.

No manejo de pastagens, sistemas mais diversificados e que utilizem melhor o potencial dos solos e clima nos trópicos (profundos e com elevada capacidade de produção de biomassa) podem apresentar efeitos positivos nas dimensões ambientais, sociais e econômicas. Para aproveitar este potencial, o manejo diversificado deve necessariamente incluir o componente arbóreo. Pastagens com árvores são denominadas de sistemas silvipastoris, uma modalidade de sistemas agroflorestais (OTS/CATIE, 1986), assim compreendido quando se verifica a interação do componente animal com espécies arbóreas e forrageiras. Esses sistemas podem ser utilizados nas extensas áreas do território brasileiro ocupadas por pastagens (Dias-Filho, 2014). Dentre os benefícios ambientais proporcionados, o componente arbóreo em pastagens melhora a qualidade do solo, pois aumenta o aporte de matéria orgânica, favorecendo os processos biológicos (Vallejo et al., 2012) e reduzindo as perdas de solo por erosão (Nair et al., 2007). As raízes das árvores exploram ainda as camadas mais profundas de solo, aumentando assim a ciclagem de nutrientes. Os SAFs incrementam ainda a biodiversidade associada, que compreende espécies silvestres da macro e microfauna, da flora, bem como de microrganismos, que passam a se integrar às áreas de produção (Perfecto et al., 2009), a partir da introdução de forma deliberada do componente arbóreo no agroecossistema, constituindo assim um aumento planejado da biodiversidade.

A adoção de sistemas que valorizem a utilização de espécies nativas nos diversos estratos agroflorestais favorece ainda os fluxos genéticos entre fragmentos florestais, com isto desempenhando função de corredores ecológicos, ou seja, permitem a interligação entre remanescentes de matas. Atualmente, os remanescentes de vegetação nativa ou secundária encontram-se muito pressionados pela ocupação humana, como verdadeiras ilhas, isoladas em uma matriz onde predomina a monocultura nos territórios ocupados pela agricultura (Perfecto et al., 2009). As árvores em sistemas de integração ampliam também a capacidade de fixação de carbono no sistema (Kauret al., 2002; Mosquera et al., 2012), contribuindo para com a redução dos impactos ambientais da atividade pecuária,

proporcionando ainda serviços ambientais para a sociedade como um todo (Nahed-Toral et al., 2013). O aumento da agrobiodiversidade, incluindo o componente arbóreo, portanto, pode ser processo chave no aumento da eficiência e sustentabilidade da produção animal (Broom et al., 2013).

Os sistemas silvipastoris proporcionam também benefícios aos animais, principalmente no que diz respeito ao conforto térmico, ampliando os ambientes de refúgio para períodos de temperatura mais elevada durante o dia (Ainsworth et al., 2012), o que leva ao maior conforto, estimulando o consumo de forragem e favorecendo o desempenho reprodutivo, dado que o estresse calórico é responsável por perdas produtivas, reprodutivas e do bem estar animal (Ricci & Domingues, 2013)

. Ainda do ponto de vista socioeconômico, os sistemas silvipastoris podem gerar adicionalmente produtos madeireiros e não madeireiros. Muitos destes produtos podem servir de alimentação animal e humana, diminuindo a demanda por recursos externos à propriedade, ou podem ser comercializados, ampliando as fontes de renda das famílias agricultoras. As árvores podem ainda contribuir para o aumento da oferta e da produção de forragem. Para obter todos estes benefícios, no entanto, as pastagens em monocultura devem ser redesenhadas, transformando-se em sistemas agroflorestais.

Experiências com sistemas agroflorestais (SAFs) na região da Zona da Mata de Minas Gerais, Bioma Floresta Atlântica, vêm sendo desenvolvidas desde a década de 1990, a partir de parcerias envolvendo organizações locais da agricultura familiar, uma organização não governamental (Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata, CTA-ZM) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV). SAFs com café e pastagens têm sido implantados em um processo de experimentação participativa, objetivando a transição agroecológica dos sistemas de produção tradicionalmente conduzidos.

Entre os anos de 2002 e 2006, uma pesquisa participativa foi desenvolvida objetivando a sistematização dessas experiências (Souza et al., 2012). A sistematização apontou impactos positivos no manejo e produção da cultura do café e nas pastagens, A sistematização apontou ainda critérios bem definidos pelos agricultores para a seleção e manejo das espécies arbóreas adequadas aos sistemas agroflorestais com café, mas pouco se avançou sobre os critérios e manejo das árvores a serem utilizadas em pastagens (Cardoso et al., 2001; Souza et al., 2010; Souza et al., 2012). A partir da sistematização, várias pesquisas foram desenvolvidas para os estudos dos sistemas agroflorestais com café,

mas pouco se estudou dos sistemas silvipastoris foram pouco avaliados. A sistematização indicou ainda a necessidade de aumentar a integração e compreensão do componente animal nos agroecossistemas da agricultura familiar, principalmente, dada a necessidade de se aumentar a produção de esterco, insumo demandado na transição agroecológica e para a produção orgânica de café (Freitas et al., 2009).

Tal necessidade levou os atores sociais envolvidos na implantação e sistematização dos SAFs na região a desenvolver um conjunto de ações visando potencializar a integração animal nos sistemas em transição agroecológica. Dentre essas iniciativas, destaca-se o projeto “Vacas para o café: fechando o ciclo de produção orgânica de café”. Este projeto foi executado por uma equipe multidisciplinar, envolvendo professores/as, técnicos/as e estudantes dos Departamentos de Solos, Veterinária, Zootecnia e Biologia Vegetal da UFV, além do CTA-ZM, Sindicato dos Trabalhadores Rurais (STR) e Associação de Agricultores Familiares de Araponga-MG (AFA). O referido projeto atendeu 15 famílias em Araponga, e teve enfoque na melhoria de instalações e manejo da criação animal nas propriedades, com o objetivo de aprimorar as práticas existentes buscando atingir os objetivos propostos para a transição agroecológica (Freitas et al., 2009). O projeto foi financiado por instituições holandesas, dentre elas a Wilde Ganzen e o Rabobank, instituições que apoiam projetos sociais direcionados para comunidades e coletivos em situação de vulnerabilidade ao redor do mundo.

A partir do projeto referido acima, muitas outras ações foram desenvolvidas ao longo dos últimos anos. Dentre elas, aquelas desenvolvidas pelo grupo de pesquisa, ensino e extensão universitária denominado “Animais para a Agroecologia” que, desde 2008, vem atuando em processos de experimentação participativa com agricultores, visando a identificação e avaliação de alimentos alternativos para a alimentação animal (Furtado et al., 2013); a melhoria das instalações rurais para criação animal; a busca por boas práticas de processamento dos produtos de origem animal (Rangel, 2008); a identificação de espécies arbóreas e forrageiras presentes nas pastagens (Bigardi et al., 2014); bem como o planejamento e o redesenho das propriedades, visando a maior eficiência e sustentabilidade na atividade pecuária, abrangendo não só a criação de bovinos, mas também de suínos e aves.

A pesquisa envolvendo manejo de pastagens sob a ótica da agroecologia vem sendo ampliada na medida em que essa temática gera resultados, como os obtidos por Pena (2015), que, ao avaliar três sistemas silvipastoris, sendo dois comuns ao presente trabalho,

concluiu que as árvores na pastagem foram capazes de melhorar a qualidade do solo pela elevação dos estoques de carbono e nitrogênio e melhoria de atributos químicos do solo.

Os SAFs desenvolvidos na Zona da Mata priorizaram a utilização de espécies nativas. Apesar de todos os aspectos positivos relacionados aos sistemas silvipastoris, que permite apontá-los como sustentáveis (Acosta et al., 2004), poucos estudos têm sido realizados sobre o potencial de contribuição das espécies arbóreas nativas em sistemas agroflorestais, sendo a maior parte dos trabalhos associados a espécies exóticas ou em sistemas simplificados que utilizam apenas uma espécie de maior demanda comercial.

No caso do Bioma Floresta Atlântica, esses estudos ganham ainda mais relevância, dado que esse bioma constitui um dos dois *hotspots* brasileiros de biodiversidade, e se encontra em situação de vulnerabilidade em função de sua fragmentação em ilhas de isolamento em meio à ocupação agropecuária.

A dedicação a estudos de aprofundamento na utilização de espécies arbóreas nativas em sistemas silvipastoris, portanto, mostra-se como uma oportunidade por aliar aspectos socioeconômicos e conservacionistas. Por isto, os objetivos da presente pesquisa perpassam por avaliar como os sistemas silvipastoris estabelecidos durante o processo comentado vêm contribuindo não só para o incremento em biodiversidade dos sistemas agropecuários, mas também para melhorar a conservação do solo e a capacidade produtiva nas propriedades da agricultura familiar da região.

Duas das três propriedades selecionadas para a realização da presente pesquisa, são locais de ação do “Grupo Animais para a Agroecologia”. Os proprietários participaram e ainda participam de muitas ações desenvolvidas na região objetivando a transição agroecológica, dentre as quais as relacionadas ao desenvolvimento de sistemas agroflorestais. A presente pesquisa, portanto, integra um trabalho amplo e de longa duração, envolvendo organizações da agricultura familiar da região, pesquisadores, técnicos e estudantes, constituindo uma iniciativa que busca corresponder à multidimensionalidade da agroecologia enquanto ciência, movimento e prática (Wezel et al, 2009).

Diante do exposto, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a contribuição dos sistemas silvipastoris para a conservação do solo, sua relação com a retenção e disponibilidade de água e seus efeitos sobre o desenvolvimento das plantas forrageiras. Esta dissertação está estruturada em dois capítulos, além da introdução e conclusões gerais.

No Capítulo 1, objetivou-se avaliar atributos químicos e físicos do solo, tendo como enfoque obter estimativas quanto à contribuição das árvores em termos de qualidade do solo. No Capítulo 2, objetivou-se avaliar a produtividade e qualidade da forragem estabelecida nos sistemas silvipastoris em comparação à pastagem sob o manejo em monocultivo a pleno sol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, Z. G., REYES, G., MONTEJO, J. L. Silvopastoral systems to prevent soil losses in sustainable livestock systems. P. 236, 2004. In: **Silvopastoralism and Sustainable Land Management**. MOSQUERA-LOSADA MR, MCADAM J, RIGUEIRO-RODRÍGUEZ A (eds). CABI Publishing, Wallingford, UK
- AINSWORTH, J. A.W.; MOE, S. R.; SKARPE, C., Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.155, p.105-110, 2012.
- BIGARDI, L.R., FURTADO, S. D. C., CORDEIRO, F. G., FERREIRA, E. L., ROMUALDO, P. L., BEVILACQUA, P. D. Abordagens participativas na agricultura familiar: construindo estratégias para o manejo agroecológico de pastagens. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, 2014.
- BRANCO, S.M., CAVINATTO, V.M., **Solos: A base da vida terrestre**. São Paulo. Moderna, 1999.
- BROOM D.M., GALINDO F.A., MURGUEITIO E., Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society**, v.280, p.2013-2025, 2013.
- CARDOSO, I. M., GUIJT, I., FRANCO, F. S., CARVALHO, A. F., & NETO, P. F., Continual learning for agroforestry system design: university, NGO, and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural system**, v.69, p.235-257, 2001.
- DIAS-FILHO, M. B.. **Diagnóstico das pastagens no Brasil** / Moacyr Bernardino Dias-Filho. Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, 402). 2014, 36p.
- FELIX, R. D.; MIRANDA, S. H. G.; BARROS, G. S. de C., Comércio internacional, agricultura e meio ambiente: teorias, evidências e controvérsias empíricas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.48, 2010.
- FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 537p.
- FREITAS, A.F., PASSOS, G.R.; FURTADO, S.D.C.; SOUZA, L.M.; ASSIS, S.O.; MEIER, M.; SILVA, B.M.; RIBEIRO, S.; BEVILACQUA, P.D.; MANCIO, A.B.; SANTOS, P.R.; CARDOSO, I.M. Produção animal integrada aos sistemas agroflorestais: necessidades e desafios. **Agriculturas**, v.6, p.30-35, 2009.
- FURTADO, S. D. C., BIGARDI, L. R., SANTOS, P. A., DOS SANTOS, A. F. M., BEVILACQUA, P. D., CARDOSO, I. M., “Animais para a Agroecologia”:

- potencializando a criação animal em propriedades familiares em transição agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**. v.8, 2013
- HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 771p
- IBGE, **Produção Pecuária municipal, Rio de Janeiro**, v. 39, p.1-63, 2011.
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola** / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro v.25, p.1-88, 2012.
- KAUR, B., GUPTA, S. R., SINGH, G.. Carbon Storage and Nitrogen Cycling in Silvopastoral Systems on a Sodic Soil in Northwestern India. **Agroforestry Systems**. v.54, p.21–29, 2002.
- MOSQUERA, O.; BUURMAN, P.; RAMIREZ, B. L.; AMEZQUITA, M. C.. Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia. **Geoderma**, v. 189–190, p.81-86, 2012.
- NAHED-TORAL, J.; VALDIVIESO-PÉREZ, A.; AGUILAR-JIMÉNEZ, R.; CÁMARA-CORDOVA, J.; GRANDE-CANO, D.. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production, **Journal of Cleaner Production**, v.57, p.266-279, 2013.
- NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R.; KALMBACHER, R.S.; EZENWA, I.V.. Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. **Ecological Engineering**, v.29, p.192-199, 2007.
- OTS/CATIE. **Sistemas Agroforestales: principios y aplicaciones en los tropicos**. San Jose: Organización para Estudios Tropicales/CATIE, 1986. 818p
- PASSOS, G. R.. **Animal integration in agroecologic properties in Araponga, Minas Gerais, Brazil**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Animais Domésticos; Nutrição e Alimentação Animal; Pastagens e Forragicultura) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- PENA, D. F. M., **Matéria orgânica e nutrientes de solos em sistemas silvipastoris**. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- PERFECTO, I., VANDERMEER, J., WRIGHT, A., 2009. **Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty**. Cap. 2. p. 11-33. Earthscan, London.
- QUEIROZ, D. S., GUIMARAES, A. S., SILVA, E. A., RUAS, J. R. M.. Utilização de pastagens, volumosos e concentrados na produção de leite da agricultura familiar. **Informe Agropecuário** (Belo Horizonte), v.31, p.15-25, 2010.
- RIBEIRO, M. C., MARTENSEN, A. C., METZGER, J. P., TABARELLI, M., SCARANO, F., FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: **Biodiversity hotspots**. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 405-434.
- RICCI, G. D.; DOMINGUES, P. F.. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite-revisão. **Veterinária e Zootecnia**, v.20, p.381-390, 2013.
- SEAPA-MG. SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. **Perfil do Agronegócio Mineiro – Pecuária, fevereiro/2014**. Disponível em: <
http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil_minas_pecuaria_2014.pdf
>. Acesso em: 10 mar. 2014.

- SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M. ; FERNANDES, J. M. ; GARCIA, F. C. P.; BONFIM, V. R. ; SANTOS, A. C. ; CARVALHO, A. F. ; MENDONÇA, E. S. . Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforestry Systems** (Print), v.80, p.1-16, 2010.
- SOUZA, H.N.; GOEDE, R.G.M. de; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I.M.; DUARTE, E.M.G.; FERNANDES, R.B.A.; GOMES, L.C.; PULLEMAN, M.M.. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.146, p.179-196. 2012.
- TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DECHENT, S. C. F.. The costs of Soil Erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.287-298, 2011.
- VALLEJO, V. E.; ARBELI, Z.; TERÁN, W.; LORENZ, N.; DICK, R. P.; ROLDAN, F.. Effect of land management and Prosopis juliflora (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.150, p.139-148, 2012.
- WEZEL A, BELLON S, DORÉ T, FRANCIS C, VALLOD D, DAVID C. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v.29, p.503-515, 2009.
- ZIMMER, A. H., ALMEIDA, G., BUNGENSTAB, D. J., KICHE, A. N. Integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: histórico e perspectivas para o desenvolvimento sustentável. In: **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA A PRODUÇÃO PECUÁRIA SUSTENTÁVEL**, 7., 2012, Belém, PA. Sistemas silvipastoris, o caminho para a economia verde na pecuária mundial. Belém, PA: UFPA, 2012. CD-ROM.

CAPITULO 1

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS EM PROPRIEDADES RURAIS DE AGRICULTURA FAMILIAR

1. INTRODUÇÃO

Dependendo do modo de exploração, a ocupação das áreas agrícolas por pastagens pode levar à degradação do solo. A degradação das áreas de pastagens é um conceito bastante variável, podendo ter um enfoque econômico ou ambiental. Do ponto de vista econômico ou produtivo, a pastagem é considerada degradada quando a produtividade das forrageiras atinge níveis muito abaixo do considerado ideal para determinada área (Dias-Filho, 2007).

Do ponto de vista ambiental ou ecológico, a degradação pode estar associada a fatores como perda de solo, matéria orgânica, nutrientes e água, estando mais frequentemente associada a processos relacionados à conservação do solo e da água. Uma pastagem com grande cobertura por plantas espontâneas, por exemplo, pode indicar a degradação do ponto de vista produtivo, entretanto, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem estar em recuperação, o que pode ser considerado um benefício do ponto de vista ambiental (Dias-Filho, 2007).

A degradação de pastagens é um processo influenciado por uma série de fatores, que vão desde a escolha das espécies forrageiras até o manejo dos animais e tratos culturais necessários (Primavesi, 1984). Muitas causas podem ser associadas à degradação, como por exemplo, o manejo inadequado da lotação animal e a ineficiência ou escassez de tratos culturais necessários, principalmente em sistemas extensivos de manejo, onde os animais normalmente percorrem grandes distâncias para obter alimentos, o que agrava a compactação pelo pisoteio, um dos principais fatores para a deterioração do ambiente (Reichert et al., 2007).

Em regiões tropicais, tais processos de degradação tendem a ser mais recorrentes em sistemas de monocultivo, o que também se aplica às pastagens. Em geral, os sistemas em monocultivo apresentam um fluxo de exportação de nutrientes elevado, e, no caso das pastagens, mesmo a ciclagem de parte desses nutrientes pelo esterco não é capaz de

minimizar esse efeito, principalmente por não favorecer a manutenção e ciclagem da matéria orgânica, um dos principais indicadores de qualidade do solo.

Os sistemas agroflorestais, ao contrário, favorecem uma série de processos químicos, físicos e biológicos no solo, ampliando a capacidade de uso da terra, tanto pela exploração de diferentes profundidades do solo, o que permite uma maior ciclagem de nutrientes, como também ampliando o aproveitamento das áreas de cultivo pelos múltiplos extratos (herbáceo, arbustivo e arbóreo). Nas regiões tropicais, em especial nas áreas de Floresta Atlântica, tais processos são ainda mais relevantes, dado que os sistemas agroflorestais se assemelham mais a composição vegetal natural, muito mais apta às condições edafoclimáticas do que o monocultivo.

Os sistemas agroflorestais podem ser classificados em diferentes modalidades, sendo os sistemas silvipastoris a modalidade que compreende a associação entre forragem, animais e o componente arbóreo (Nair, 1993). Sistemas silvipastoris bem planejados, com espacialização adequada de árvores, possuem potencial para minimizar os fatores de degradação do solo, pois fornecem um conjunto de benefícios à conservação do solo. Ao avaliar sistemas silvipastoris, Kruschewsky (2009) verificou que aqueles com espacialização mais uniforme obtiveram distribuição de fezes também uniforme, servindo como indicador do trânsito menos concentrado de animais em determinadas áreas.

Em geral, sistemas integrados com componentes arbóreos possuem maior potencial de conservação, pois, devido ao aporte contínuo de matéria orgânica, favorecem a maior estabilidade dos agregados do solo, contribuindo assim para com o aumento da porosidade, redução da densidade e da resistência do solo à penetração. Devido aos benefícios proporcionados em termos de qualidade do solo, esses sistemas tendem a se tornar, a médio e longo prazo, menos suscetíveis aos processos de degradação do solo, o que também pode se refletir em ganhos produtivos do sistema.

A principal indicação dos processos de degradação de pastagens é a redução da capacidade de produção vegetal, o que implica na diminuição da produtividade e do desempenho animal no sistema (Machado, 2010). Reduzida a capacidade de rebrote das plantas forrageiras, aumenta a área de exposição do solo, favorecendo os processos erosivos e a compactação. Quando exposto, o solo torna-se mais suscetível ao selamento superficial decorrente do entupimento dos poros, causado pela quebra dos agregados pelo impacto das chuvas. A compactação, causada pelo pisoteio excessivo dos animais, e o

selamento comprometem, sobremaneira, a qualidade física do solo (Hillel, 1998) e dificultam, com isto, a infiltração da água, aumentando o escoamento superficial, o que pode levar a à erosão dos solos.

Os atributos físicos do solo possuem, assim, relação direta com a dinâmica da água e afetam diretamente a estabilidade e resiliência do sistema, bem como a sua produtividade. Os atributos físicos que melhor descrevem a qualidade do solo são a densidade do solo (Muller et al., 2001, Spera et al., 2004), o volume e distribuição do espaço poroso (Fidalski et al., 2008) e a resistência do solo à penetração (Tormena et al., 2002; Ralisch et al., 2008). Estes atributos influenciam desenvolvimento de plantas em áreas de pastagens (Ferreira et al., 2010) e têm relação direta com a estrutura do solo bem como seu grau de compactação.

A compactação do solo pode causar dois tipos de deformações à sua estrutura. A deformação elástica, que é a que altera a estrutura do solo, mas que é reversível, ou seja, o solo possui a capacidade de recuperar sua estrutura. E a deformação plástica, que é a de caráter irreversível, ou seja, o solo não é capaz de recuperar sua estrutura, perdendo sua porosidade de forma permanente, necessitando-se de intervenção técnica para sua recuperação (Hillel, 1998).

O uso da densidade relativa (D_{rel}) como indicador de avaliação do grau de compactação e da qualidade do solo tem sido muito recomendado (Beutler et al., 2008), pois permite avaliar o grau de compactação do solo em função do manejo, já que seus resultados são pouco influenciados pela granulometria ou pelas características mineralógicas do solo (Carter, 1990; Klein, 2006). A densidade relativa é calculada pela relação entre a densidade máxima do solo (D_{max}), obtida por ensaios de compressão, e a densidade do solo verificada em campo (D_s).

Um outro indicador importante é a suscetibilidade do solo à erosão, que pode ser estimada por ensaios de estabilidade de agregados, tanto por via úmida como seca. A avaliação do comportamento de agregados é importante para a conservação do solo, por permitir descrever a maior resiliência ou suscetibilidade do solo aos processos erosivos (Ferreira et al., 2010). Em regiões como a da Zona da Mata Mineira, com alta pluviosidade e relevo declivoso, o ensaio de estabilidade de agregados mais indicado é o por via úmida, por avaliar a quantidade e a distribuição do tamanho dos agregados que

permanecem estáveis em água, permitindo assim estudar a suscetibilidade à perda de estrutura em função da presença e ação da água.

Outros indicadores podem ser utilizados para avaliar a qualidade física do solo, como as determinações da Curva Característica de Água no solo (CRA) e da Argila Dispersa em Água (ADA). A CRA é uma determinação fundamental para conhecimento do comportamento físico-hídrico do solo, pois representa a capacidade de um solo em reter e disponibilizar água para as plantas (Jorge et al., 2010). Sua determinação fornece estimativas do conteúdo de água disponível em diferentes tensões, que representam a força com que a água está retida nas partículas e agregados de solo. Já a ADA está associada à estabilidade de agregados e à suscetibilidade à erosão hídrica.

A presente pesquisa tem por objetivo geral avaliar indicadores de qualidade física e química dos solos em pastagens com e sem a presença de árvores, permitindo assim estimar a influência do componente arbóreo em relação aos atributos avaliados. Para o estudo foram selecionadas três áreas de pastagem com árvores e três áreas correspondentes de pastagem em monocultivo a pleno sol, em propriedades representativas de agricultura familiar da região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido nos municípios de Divino e Araponga, ambos pertencentes à mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais, Bioma Mata Atlântica. Esse bioma, que, junto ao cerrado, compreende um dos dois *hotspots* de biodiversidade brasileira, vem recebendo atenção de diversos estudos no que diz respeito ao seu estado de vulnerabilidade em termos de conservação de seus recursos naturais em função da atividade antrópica e seus impactos.

Na região da Zona da Mata predomina a condição climática tropical de altitude; a precipitação média anual varia entre 1200 e 1400 mm, com um período seco bem definido, variando de dois a quatro meses; a temperatura média é em torno de 19 °C; as declividades variam entre 20 e 45 %; as altitudes entre 200 e 1800 m (Golfari, 1975) e a classe de solo predominante é a dos Latossolos, caracterizados por apresentar grande profundidade, boa drenagem, acidez e baixa disponibilidade de nutrientes (Ker, 1995).

Os municípios de Araponga e Divino localizam-se nas proximidades do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), considerada uma das 76 áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade e classificada como de alta importância biológica (Costa et al., 1998). Apesar da considerável importância do PESB para a manutenção da biodiversidade, a atividade agrícola na região provocou e têm provocado impactos significativos nos ecossistemas locais. Esta situação é visível na região, onde fragmentos de vegetação nativa constituem ilhas de isolamento, ocupando áreas restritas da paisagem, circundadas por cultivos agrícolas, principalmente, cafezais e pastagens. Nas áreas de pasto predomina a pecuária extensiva, com mínimos cuidados com a conservação dos solos. Esse desenho da paisagem faz com que as áreas florestais representem descontinuidades, o que desfavorece os fluxos e a manutenção da biodiversidade nativa, ameaçando a sua conservação (Perfecto et al., 2009).

Ao todo foram selecionadas para o estudo três propriedades, duas em Divino e uma em Araponga, todas propriedades da agricultura familiar e com pastagens com densidade de árvores que as caracterizassem como sistemas silvipastoris ou a pleno sol. Em cada propriedade uma área de pastagem foi selecionada, aqui denominada de sistema, identificadas pelas iniciais dos municípios (Divino e Araponga), e de seus proprietários (P_{DA}, P_{DN}, P_{AE}). Cada sistema possui área de pastagem arborizada e área de pastagem a pleno sol, além de fragmento de mata próximo, utilizada como um sistema natural, para comparação com os sistemas manejados.

Todas as áreas de pastagens selecionadas possuíam árvores manejadas há mais de 15 anos, tempo considerado suficiente para causar efeitos sobre a qualidade do solo. Para se avaliar esses efeitos, em cada sistema, foram estabelecidos três tratamentos, a saber:

- Copa da Árvore (CA): efeito do componente arbóreo sob a área de projeção da copa, com pontos de coleta instalados a uma distância equivalente à metade do raio de projeção da copa.
- Fora da Copa da Árvore (FCA): fora da área de projeção da copa, mas com influência das árvores. Os pontos de coleta instalados entre as árvores selecionadas para o tratamento CA foram de uma distância variando de aproximadamente 10 a 15 m, distância essa intermediária entre os indivíduos arbóreos selecionados pelo tratamento CA.

- Pleno Sol (PS): área correspondente sem influência do componente arbóreo, representando uma pastagem em monocultivo a pleno sol, ou seja, sem sombreamento e sem aporte significativo de material vegetal originário das árvores.

2.2.Pontos de amostragem e procedimentos de coletas

O padrão de coleta de amostras foi estabelecido para cada grupo de análises. Para a coleta de amostras indeformadas em anel volumétrico, destinadas à parte das análises físicas, foram estabelecidos cinco pontos de amostragem, com quatro amostras simples por ponto, coletadas nos sentidos norte, sul, leste e oeste, sendo as amostras coletadas na profundidade de 2,5 a 7,5 cm.

As amostras deformadas destinadas à análise química foram coletadas nos mesmos cinco pontos, repetindo-se o mesmo padrão de coleta, sendo as quatro amostras simples homogeneizadas a campo, formando cinco amostras compostas por tratamento em cada propriedade, na profundidade de 0 a 20 cm.

Para outras análises físicas, como granulometria, estabilidade de agregados e densidade relativa, foram coletadas três amostras simples por tratamento. Para estas análises foram coletados blocos de solo com as dimensões apropriadas para as análises propostas, na profundidade de 0 a 10 cm.

Os pontos de amostragem foram distribuídos aleatoriamente para cada tratamento, com exceção do tratamento CA, cujos pontos foram distribuídos sob a copa de cinco árvores selecionadas, obedecendo o critério de possuírem porte e arquitetura de copa semelhante. Para cada tratamento, as espécies forrageiras foram identificadas, bem como as espécies arbóreas selecionadas para o tratamento CA. Os dados de identificação botânica são apresentados na Tabela 1, assim como a caracterização geral das áreas avaliadas.

Tabela 1. Caracterização das áreas de estudo, do componente arbóreo e forrageiro em sistema silvipastoris e pastagens a pleno sol na Zona da Mata de Minas Gerais

Sistema	Coordenadas	Altitude (m)	Área (ha)	Face de Exposição	Forma do Relevo	Posição na Paisagem
P _{DA}	20°40'57.10"S 42° 7'48.32"O	1020	0,57	Leste	Convexo	Terço Médio
P _{DN}	20°30'52.61"S 42° 5'54.54"O	930	1,62	Sul	Côncavo	Terço Médio
P _{AE}	20°38'35.33"S 42°29'56.29"O	1270	0,62	Sul-Oeste	Plano	Terraço

Sistema	Componente arbóreo			Componente Forrageiro	
	Nome popular	Família	Nome científico	Tratamento ⁽¹⁾	Espécie forrageira
P _{DA}	Ipê Preto	Bignoniaceae	<i>Zeyheria turberculosa</i>	CA	<i>Brachiaria decumbens</i>
	Ipê amarelo	Bignoniaceae	<i>Tabebuia alba</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Brachiaria decumbens</i>
P _{DN}	Orvalheira	Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	CA	<i>Brachiaria decumbens</i>
	Óleo Pardo	Fabaceae	<i>Myroxylon peruiferum</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Brachiaria decumbens</i>
P _{AE}	Abacateiro	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	CA	<i>Panicum Maximum cv. Mombaça</i>
	Capoeira Branca	Solanaceae	<i>Solanum mauritianum Scop.</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Cynodon Dactylon var tifton 85</i>

⁽¹⁾ CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol.

2.3. Atributos químicos do solo

As análises químicas de rotina de solo foram realizadas de acordo com EMBRAPA (2011), sendo o teor de matéria orgânica determinado por via úmida; o N total pelo método de Kjeldahl; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis extraídos com solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e determinados por espectrometria de absorção atômica; P e K disponíveis extraídos com Mehlich-1 e determinados por colorimetria e fotômetro de chama, respectivamente; $\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ extraídos com $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por titulometria com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; pH em água via potenciometria na proporção solo:solução de 1:2,5.

2.4. Atributos Físicos do solo

2.4.1. Análise granulométrica e Argila dispersa em água (ADA) e Índice de Floculação (IF)

As frações de argila, silte, areia grossa e areia fina foram determinadas pelo o método da pipeta, utilizando-se NaOH como agente dispersante (EMBRAPA, 2011). As amostras passaram por agitação lenta (50 rpm) durante 16 horas antes da separação e cálculo das partículas de argila, silte, areia fina e areia grossa.

A argila dispersa em água foi determinada utilizando-se o mesmo método, porém sem a utilização do NaOH como dispersante químico. A partir da determinação do teor de ADA, foram calculados os índices de dispersão (ID) e floculação (IF), segundo as equações 1 e 2:

$$\text{ID} = \frac{\text{X ADA}}{\text{X' Arg}} \quad (1)$$

$$\text{IF} = \frac{\text{X' Arg} - \text{X ADA}}{\text{X' Arg}} = 1 - \text{ID} \quad (2)$$

2.4.2. Densidade (Ds), Densidade de partículas (Dp), Densidade Máxima (Dmax) e Densidade Relativa (Drel) do Solo

Para a determinação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas utilizando-se anéis volumétricos de, aproximadamente, 5 cm de altura e diâmetro. A profundidade de coleta foi de 2,5 a 7,5 cm, considerada como adequada por contemplar a região mais superficial e, portanto, mais suscetível a processos de compactação e erosão.

A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico e a densidade de partículas (D_p) foi determinada segundo o método do balão volumétrico (Embrapa, 2011).

Para a determinação da D_{max} utilizou-se o aparelho consolidômetro pneumático COMTEC, que aplica uma pressão uniaxial sobre a amostra. Amostras de TFSA foram utilizadas nesta determinação, que consistiu da alocação da amostra em anel volumétrico de 7,5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, com fundo coberto por tela de nylon. As amostras foram saturadas e equilibradas à tensão à 10 kPa em câmara de Richards, por um período de 72 h. Após o equilíbrio, as amostras foram levadas ao consolidômetro, cuja pressão aplicada para a obtenção da D_{max} foi a de 200 kPa, por um período de 15 minutos. Foi determinada diferença de altura da amostra no anel, calculando-se então a D_{max} pela densidade obtida após o ensaio (Hakansson, 1990).

A partir dos valores de D_{max} calculou-se a Densidade Relativa (D_{rel}) pela relação entre a D_s e a D_{max} (equação 3), sendo os dados de D_s correspondentes aos obtidos nos mesmos pontos de coleta das amostras utilizadas no ensaio de compactação.

$$D_{rel} = \frac{D_s}{D_{max}} \quad (3)$$

2.4.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo

Com os dados de D_s e D_p , calculou-se a porosidade Total (P_{total}), segundo a equação 4:

$$P_{total} = \frac{V_{poros}}{V_T} = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (4)$$

A microporosidade, que representa o percentual de poros menores que 0,05 mm, foi determinada na amostra indeformada presente no anel volumétrico, após equilíbrio em mesa de tensão com o potencial de -6 kPa, por 72 h. A macroporosidade foi calculada por diferença entre a Porosidade total e a Microporosidade.

2.4.4. Resistência do solo à penetração

Nas análises de resistência do solo à penetração foi utilizado o penetrômetro estático de bancada, do tipo Marconi modelo MA-933. As amostras indeformadas utilizadas para a resistência à penetração foram as mesmas utilizadas para a determinação

da densidade do solo, totalizando 20 amostras por tratamento. As amostras foram submetidas ao teste de resistência após serem equilibradas na tensão de -10 kPa em mesa de tensão, por 72h. Foram descartados os dados provenientes do primeiro e último centímetro da altura total do anel volumétrico, sendo a curva de resistência do solo à penetração relativa à profundidade de 3,5 a 6,5 cm. Após a determinação da curva de resistência, foram determinadas a resistência média, mínima e máxima de cada um dos tratamentos e sistemas avaliados.

2.4.5. Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados

A determinação da estabilidade e distribuição do tamanho de agregados foi realizada por via úmida.

No campo, coletaram-se blocos de aproximadamente 20 x 10 x 15 cm. Os blocos, após a coleta, passaram pela secagem ao ar e, posteriormente, foram destorroados manualmente em agregados menores. O material resultante da desagregação foi submetido a seleção de agregados com diâmetro entre 2 a 4 mm, por meio de peneiras. Para a análise, de cada amostra foram pesados aproximadamente 25 g de agregados de 2-4 mm, com precisão de 0,01 g. As amostras foram colocadas em vidro de relógio e umedecidas por meio de atomizador manual, permanecendo em repouso por 2 h. As amostras foram então colocadas sobre uma peneira de 2 mm, acoplada a um conjunto de peneiras de 1; 0,5; 0,25; e 0,105 mm. O conjunto de peneiras foi acoplado no agitador tipo Yoder, regulado para movimento de oscilação vertical de 5 cm de amplitude, a 26 oscilações por minuto, durante 15 minutos. Ao final do teste, os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para recipientes previamente tarados e levados à estufa a 105 °C, durante 48 h e novamente pesados.

A partir dos valores obtidos pelas proporções de agregados retidos em cada peneira, foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP, equação 5) e o diâmetro médio geométrico (DMG, equação 6):

$$DMP = (\sum X_i)DM_i \quad (5)$$

$$DMG = 10^{\sum X_i \log(DM_i)} \quad (6)$$

Onde o DMP será proporcionalmente maior de acordo com a porcentagem de agregados de maior diâmetro, enquanto que o DMG representa uma estimativa das classes de agregados de maior ocorrência (Castro Filho et al., 1998).

2.4.6. Curva de retenção de água no solo (CRA)

A determinação da CRA foi efetuada em amostras coletadas na profundidade de 2,5 a 7,5 cm, a mesma utilizada nas outras determinações relacionadas à estrutura do solo. Os potenciais empregados foram -2, -4, -6, -10, -30, -100, e -1500 kPa. A escolha dos potenciais aplicados fundamentou-se na sua funcionalidade, uma vez que são relevantes na determinação das condições mais importantes de retenção da água no solo.

As tensões mais baixas, como -2 e -4 kPa foram empregadas para um melhor ajuste do modelo. A tensão de -6 kPa determina o limite entre macro e microporos, ou seja, indica a quantidade de água sujeita a drenagem pelos macroporos, restando na amostra a água retida por adsorção. As tensões de -10 e -30 kPa determinam a capacidade de campo (CC), para solos arenosos ou de estrutura granular e para solos argilosos, respectivamente. E a tensão de -1500 kPa representa o ponto de murcha permanente (PMP).

As tensões de 2 e 4, 6 e 10 kPa foram determinadas com amostras indeformadas (anel volumétrico) na mesa de tensão. As tensões de 30, 100 e 1500 kPa foram determinadas com a amostra deformada na câmara de Richards. A amostragem adotada foi a mesma utilizada para determinação da densidade do solo, portanto, 20 amostras simples por tratamento.

Os resultados obtidos foram ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980) (Equação 7), cujos parâmetros são obtidos pelo software *Soil Water Retention Curve* (SWRC), versão 3.00 (Carducci et al.;2011).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (7)$$

2.5. Análise estatística

Cada uma das três propriedades foi avaliada separadamente na comparação entre os tratamentos, considerando as como unidades específicas de análise de comparação

entre os tratamentos, não sendo reproduzidas as mesmas condições de paisagem, conforme observado na caracterização das áreas (Tabela 1)

Os dados obtidos foram analisados como amostras independentes, uma vez que cada sistema avaliado consiste em uma unidade específica, considerando que entre os sistemas não são reproduzidas as mesmas condições em termos de topografia, composição botânica e espacialização das árvores.

Além da comparação entre os tratamentos dentro de cada sistema selecionado, foi realizada uma comparação geral entre os tratamentos considerando as médias obtidas em todos os três sistemas avaliados, visando obter uma estimativa da contribuição do componente arbóreo numa perspectiva geral da pesquisa, considerando que cada um dos sistemas apresentou características distintas principalmente em termos de altitude, relevo, face de exposição e posição na paisagem.

A normalidade dos dados foi verificada por estatística descritiva, utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5% de probabilidade. Para verificação da homogeneidade de variância foi aplicado o teste de Levene para a análise de atributos físicos e o teste de Cochran para os atributos químicos do solo. As variáveis que não apresentaram homogeneidade pelo teste de homogeneidade de variância foram sujeitas a transformação dos dados para adequação de escala e posterior realização dos testes.

Após a verificação de normalidade e homogeneidade de variâncias, foi feita a comparação de médias dos tratamentos pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Adicionalmente, foram geradas matrizes de correlação linear entre atributos químicos e físicos do solo, utilizando-se Correlação de Pearson. Na avaliação das correlações consideraram-se os valores obtidos para todos os tratamentos e sistemas avaliados, buscando-se avaliar a relação entre as variáveis avaliadas.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software Statistica® (Statsoft) versão 13.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos químicos do solo

As análises químicas (Tabela 3) indicam variações entre os sistemas avaliados. Dos resultados obtidos, observa-se que o sistema PDA foi o que obteve maior número de atributos químicos apresentando diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$), sendo que apenas K e N total não apontaram diferença. Os outros atributos, em geral, apresentaram melhores resultados para os tratamentos CA e FCA. O teor de P foi superior apenas para CA, enquanto que Ca, Mg, SB, t, T, COT e estoque de C foram superiores em CA e FCA em comparação a PS. No sistema PDN, apenas o estoque de C apresentou diferença entre os tratamentos, enquanto que em PAE, houve diferença para teor de P e estoque de C.

O estoque de C no solo na profundidade avaliada foi, portanto, o único atributo do solo a apresentar diferença entre os tratamentos em todos os três sistemas, enquanto que o N total não apresentou diferença entre os tratamentos em nenhum dos sistemas avaliados.

Quando são comparados os tratamentos com as médias dos três sistemas, no entanto, observa-se que, com exceção de K e N total, além de P e Mg que não apresentaram homogeneidade de variância, todos os outros atributos químicos do solo apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, indicando a contribuição do componente arbóreo na melhoria da qualidade química do solo no panorama geral do trabalho.

Dentre os atributos avaliados, destaca-se o teor de COT, um dos principais indicadores de qualidade do solo. A diferença observada deve-se principalmente ao aporte de resíduos vegetais proveniente do material senescente das árvores, efeito já estudado por outros pesquisadores (Howlett et al., 2011; Haile et al., 2010, Cajas-Giron & Sinclair, 2001). Esses autores verificaram a elevação dos teores de COT em sistemas silvipastoris não só nas camadas superiores, como avaliado no presente trabalho, mas também em diferentes profundidades. Todas essas observações reforçam o potencial dos sistemas silvipastoris no sequestro e estoque de carbono no solo, sendo essa uma grande contribuição dessa prática na mitigação de mudanças climáticas no período contemporâneo (Lal, 2004).

Tabela 2. Valores médios de atributos químicos do solo ⁽¹⁾ de pastagem sob influência de árvores e em monocultivo a pleno sol

Sistema	Tratamento	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	N total	COT	Est C
			— mg dm ⁻³ —			— cmol _c dm ⁻³ —			— dag kg ⁻¹ —		Mg ha ⁻¹	
P _{DA}	CA	5,7	1,3 ab	23,2	5,6 a	1,9 a	7,6 a	7,7 a	17,2 a	0,29	5,13 a	24,8 a
	FCA	5,5	1,8 a	74,2	4,7 a	1,7 a	6,6 a	6,9 a	16,7 a	0,39	4,65 a	22,9 a
	PS	5,7	0,6 b	43,6	2,8 b	0,8 b	3,8 b	4,1 b	10,7 b	0,4	2,90 b	17,3 b
P _{DN}	CA	5,5	1,3	42,8	4,4	1,5	6,0	6,2	13,0	0,50	2,65	14,0 ab
	FCA	5,6	1,7	36,8	3,6	1,1	4,7	5,1	12,4	0,50	2,65	15,2 a
	PS	5,7	0,6	22,6	4,8	0,7	5,6	5,6	11,6	0,30	1,95	11,5 b
P _{AE}	CA	6	5,1 b	156,0	5,3	1,1	6,8	6,8	15,4	0,40	6,02	28,2 ab
	FCA	6	12,3 a	96,0	5,9	1,2	7,4	7,4	16,7	0,40	6,80	31,6 a
	PS	6,1	9,8 ab	178,0	3,9	0,8	5,2	5,2	13,9	0,30	4,32	22,9 b
Média Geral	CA	5,7	2,6	74,0	5,1 a	1,1	6,8 a	6,9 a	15,2 a	0,37	4,60 a	22,3 a
	FCA	5,7	5,3	69,0	4,7 ab	1,2	6,2 ab	6,5 a	15,3 a	0,42	4,70 a	23,2 a
	PS	5,8	3,6	81,4	3,9 b	0,8	4,8 b	5,0 b	12,0 b	0,35	3,05 b	17,2 b

⁽¹⁾ pH H₂O: pH em água, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, SB: Soma de Bases, t: CTC efetiva, T: CTC a pH 7, N total: Nitrogênio Total, COT: Carbono Orgânico Total, Est C: Estoque de Carbono.

⁽²⁾ CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey (p<0,05).

A contribuição do material senescente, de composição diversificada (folhas, galhos, flores e frutos), favorece a melhoria da qualidade do solo, pois a diversidade de materiais proporciona taxas de decomposição variáveis, favorecendo a manutenção da cobertura do solo e uma liberação gradual dos nutrientes presentes nesse material (Duarte et al., 2013).

A partir da matriz de correlação linear e dos coeficientes produto-momento de Pearson (Quadro 1), observa-se que o teor de COT e o estoque de C foram os atributos que exerceram maior influência sobre os demais, não havendo correlação significativa apenas para Mg e N, sendo que o teor de N não apresentou correlação significativa com nenhum dos outros atributos.

Essa observação reforça a relevância do COT sobre a qualidade química do solo, pois além de apresentar correlação significativa com a maior parte dos nutrientes, também demonstrou correlação com SB, t e T, atributos importantes para a atividade agropecuária na região da Zona da Mata de Minas Gerais, pois sabe-se que em função do alto grau de intemperismo dos solos dessa região, esses valores tendem a ser baixos, limitando a retenção e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Quadro 1. Matriz de correlação linear para atributos químicos do solo ⁽¹⁾ em pastagens da Zona da Mata de Minas Gerais

	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	N	C tot
P	0,473									
K	0,489	0,547								
Ca ²⁺	0,445	0,256	0,100							
Mg ²⁺	0,022	-0,096	-0,054	0,634						
SB	0,402	0,225	0,150	0,977	0,771					
t	0,338	0,213	0,127	0,963	0,793	0,992				
T	0,122	0,280	0,164	0,628	0,540	0,660	0,711			
N	-0,201	-0,098	-0,017	-0,168	-0,022	-0,142	-0,118	-0,107		
C tot	0,326	0,538	0,340	0,487	0,249	0,484	0,508	0,831	-0,177	
Est C	0,391	0,566	0,363	0,477	0,231	0,473	0,489	0,792	-0,132	0,976

⁽¹⁾ pH H₂O: pH em água, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, SB: Soma de Bases, t: CTC efetiva, T: CTC a pH 7, N total: Nitrogênio Total, COT: Carbono Orgânico Total, Est C: Estoque de Carbono.

Valores em negrito: coeficiente de correlação de Pearson significativo (p<0,05).

Os teores de Ca e Mg também se mostraram relevantes na manutenção da fertilidade do solo, pois apresentaram correlação alta com SB e t, indicando que a elevação desses teores na pastagem sob influência das árvores aumenta também a capacidade de retenção e disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

O maior teor de Ca e Mg na pastagem arborizada também se deve aos maiores teores de COT, pois sendo bases de maior solubilidade tendem a ser lixiviadas mais facilmente, e sua retenção no solo depende, portanto, da elevação da CTC, que é favorecida pela matéria orgânica.

Os menores valores de SB, t e T em PS, por consequência, indicam que esse sistema de manejo tem levado à redução da qualidade química desses solos, principalmente pela redução gradual dos teores de COT, dado que o aporte de matéria orgânica nessas áreas é muito reduzido quando comparada às áreas sob influência do componente arbóreo.

3.2. Atributos Físicos do solo

3.2.1. Análise granulométrica, Argila dispersa em água (ADA) e Índice de Flocculação (IF)

Os dados referentes à análise granulométrica, determinação de argila dispersa em água (ADA) e índice de flocculação (IF) são demonstrados na Tabela 2. De uma forma geral, a análise granulométrica indica que nos sistemas avaliados não houve diferença textural entre os tratamentos, com exceção do sistema P_{AE}, onde o tratamento PS apresentou classe textural Franco Argilo Arenosa enquanto os tratamentos CA e FCA apresentaram classe Franco Argilosa.

Os teores de ADA foram diferentes ($p < 0,05$) apenas em P_{DA}. Nesse sistema, o maior teor de ADA foi encontrado para PS, seguido de CA e FCA. A importância da ADA justifica-se por sua influência no encrostamento superficial, que limita a infiltração de água no solo (Levy et al., 1993), processo que se dá principalmente pela quebra de agregados do solo por ação da água, do vento ou de perturbações mecânicas. Por esse motivo a ADA também é um indicador da qualidade estrutural do solo.

Tabela 3. Valores médios de areia total, areia grossa, areia fina, silte, argila e classificação textural e Densidade de Partículas (Dp) para os tratamentos e sistemas avaliados

Sistema	Tratamento ⁽¹⁾	Areia			Silte	Argila	ADA ⁽²⁾	IF ⁽³⁾	Classificação Textural
		Total	Grossa	Fina					
%									
P _{DA}	CA	27	14	13	18	55	0,10 ab	0,83 a	Argiloso
	FCA	29	16	13	21	51	0,08 b	0,84 a	Argiloso
	PS	35	22	13	16	49	0,14 a	0,73 b	Argiloso
P _{DN}	CA	32	21	11	14	53	0,12	0,77	Argiloso
	FCA	32	22	10	15	53	0,07	0,86	Argiloso
	PS	29	18	10	17	54	0,12	0,77	Argiloso
P _{AE}	CA	48	35	13	19	33	0,02	0,93	Franco Argiloso
	FCA	44	31	12	24	33	0,02	0,93	Franco Argiloso
	PS	51	35	16	21	29	0,03	0,90	Franco Argilo arenoso

⁽¹⁾ Tratamentos: CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol

⁽²⁾ADA: Argila dispersa em água; ⁽³⁾IF: Índice de floculação.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A partir da análise granulométrica, constata-se que dentro de cada sistema não houve variação expressiva de textura entre os tratamentos, podendo-se considerar que as diferenças entre tratamentos observadas nas outras análises estão relacionadas ao manejo. Já entre os sistemas, houve uma maior variação entre o sistema P_{AE} e os demais, com maior diferença nos teores de argila e areia total, sendo que a areia grossa foi a que representou maior fonte de variação.

3.2.2. Densidade do solo, densidade de partículas, densidade máxima e relativa do solo

Os dados referentes à densidade do solo (Tabela 4) indicam, de uma maneira geral, maior qualidade física do solo nos tratamentos sob influência do componente arbóreo (CA e FCA). Não houve diferença entre os valores médios de densidade de partículas

(Dp) e densidade máxima (Dmax) entre os tratamentos, observação já esperada considerando que esses atributos não apresentam variação em função do manejo, estando mais relacionados aos processos de formação do solo, sendo portanto muito semelhantes na escala observada, como pode se observar pela baixa variação textural entre os tratamentos em cada sistema (Tabela 1), atributos esses que não se alteram com o manejo, sendo determinantes para a Dmax (Marcolin, 2006).

Tabela 4. Valores médios de Densidade de partículas (Dp), Densidade (Ds), Densidade Máxima (Dmax) e Densidade Relativa (Drel) do solo ⁽¹⁾ em pastagens sob influência de árvores e em monocultivo a pleno sol

Sistema	Tratamento ⁽²⁾	Dp	kg dm ⁻³		
			Ds ^(*)	Dmax	Drel ^(*)
P _{DA}	CA	2,25	0,97 b	1,35	0,73 b
	FCA	2,29	1,02 b	1,34	0,82 a
	PS	2,37	1,20 a	1,40	0,87 a
P _{DN}	CA	2,33	1,06 b	1,30	0,78
	FCA	2,44	1,16 a	1,33	0,83
	PS	2,34	1,18 a	1,29	0,93
P _{AE}	CA	2,17	0,98	1,06	0,84 b
	FCA	2,16	0,93	1,01	0,92 ab
	PS	2,21	1,08	1,09	0,99 a
Média Geral	CA	2,25	1,01 b	1,24	0,78 b
	FCA	2,30	1,04 b	1,23	0,86 ab
	PS	2,31	1,15 a	1,26	0,93 a

⁽¹⁾ Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; Dmax: densidade máxima; Drel: densidade relativa. ⁽²⁾ CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey (p<0,05).

^(*) A densidade do solo (Ds) foi estimada considerando todas as avaliações efetuadas em cada tratamento (N = 20). Por sua vez, a densidade relativa (Drel) foi calculada com base nos valores de Ds obtidos apenas nos pontos de determinação da Dmax (N = 3). Desta forma os dados de Drel da tabela não são a simples razão entre os valores de Ds e Dmax apresentados.

A densidade do solo (D_s) apresentou diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$) apenas em P_{DA} e P_{DN} . Em P_{DA} , FCA e CA apresentaram D_s inferior a PS, enquanto que em P_{DN} , apenas CA apresentou menor D_s , não havendo diferença entre FCA e PS para esse atributo. A D_s constitui um dos principais indicadores relacionados à qualidade física do solo, dado que maiores valores estão relacionados diretamente com a perda de estrutura, que também provoca redução da macroporosidade (Reichardt et al., 2003).

Já a densidade relativa (D_{rel}) apresentou diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$) nos sistemas P_{DA} e P_{AE} , sendo que em P_{DA} a menor D_{rel} foi observada em CA, não havendo diferença entre os tratamentos FCA e PS, e em P_{AE} a diferença se deu entre os tratamentos CA e PS, sendo que FCA não diferiu de ambos. Esses resultados demonstram que sob a projeção da copa das árvores (CA), a D_{rel} foi significativamente menor (P_{DA} e P_{AE}), indicando a contribuição das árvores na melhoria da qualidade física do solo, o que pode ser atribuído ao aporte de matéria orgânica ao solo pelas árvores e à ação mais intensa do sistema radicular das mesmas devido as melhores condições químicas do solo. A matéria orgânica desempenha importante papel na estruturação do solo, pois favorece os processos biológicos que contribuem para formar estruturas mais estáveis, resultando em menor D_s e menor D_{rel} , sendo que estes atributos são os que mais interferem no desenvolvimento de plantas (Dexter, 2004).

Na comparação entre os tratamentos considerando as médias de todos os sistemas, observa-se que a D_s foi maior em PS, não havendo diferença entre CA e FCA. A D_{rel} também foi maior em PS e menor em CA, não havendo diferença entre FCA e os demais tratamentos.

A D_{rel} , diferentemente da D_{max} , se constitui como um atributo influenciado pelo manejo. A menor D_{rel} pode ser atribuída a uma série de fatores, mas em especial ao aporte de matéria orgânica, o que se relaciona com teores observados de COT (Tabela 3.). Sendo a matéria orgânica um componente de baixa densidade, quanto maior o seu teor, menor será a densidade esperada do solo. A matéria orgânica, portanto, possui grande influência na manutenção da estrutura do solo. Os dados de D_{rel} obtidos pelo ensaio de compressão também se correlacionam com os dados de porosidade e resistência do solo à penetração (Tabela 5, Figuras 1 e 2), repetindo-se uma mesma tendência na comparação estatística entre os tratamentos.

Os valores de Drel encontrados em CA em todos os sistemas e em FCA (exceto em P_{AE}) apresentaram valores inferiores a 0,88, apontado como limitante ao desenvolvimento de plantas em outros estudos. De acordo com resultados obtidos por Carter (1990), o valor crítico da Drel é de 0,89 para cultura de grãos em plantio direto. Por sua vez, Liepic et al. (1991) encontraram redução na produção de grãos com Drel superior a 0,88 em solo argiloso. Estes valores foram estabelecidos para culturas anuais, ainda mais exigentes em termos de qualidade física do solo do que as forrageiras aqui estudadas. Na média geral dos sistemas, observa-se também que apenas PS apresentou resultado superior (Drel PS=0,93) aos valores críticos mencionados.

A elevação da Drel pode ser atribuída principalmente a compactação e consequente diminuição do volume de macroporos, comprometendo a capacidade de aeração e troca de gases do solo. Esse processo tende a comprometer o desenvolvimento de raízes, pois além de reduzir o oxigênio disponível no solo, também diminui o volume de água livre. Os valores obtidos para Drel indicam, portanto, baixa compactação do solo nas pastagens arborizadas, pois essa medida demonstra justamente a relação entre a densidade atual e a densidade máxima que cada solo pode atingir.

A partir da observação dos valores médios de Drel, pode-se admitir que, ao menos em P_{DA}, a maior a maior concentração de nutrientes observada no tratamento CA (Tabela 3) foi influenciada principalmente pelo aporte de material proveniente das árvores, contrariamente à hipótese de maior concentração de nutrientes em função da maior ocorrência de dejetos dos animais nessas áreas, pois caso fosse essa a principal causa, a Drel seria maior em função da compactação pelo pisoteio.

Considerando que para todos os sistemas avaliados houve diferença significativa da Ds e Drel entre os tratamentos CA e PS, considera-se positiva a contribuição das árvores na manutenção de menores níveis de compactação nas pastagens avaliadas.

3.2.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo

Os valores de porosidade total, macro e microporosidade do solo são demonstrados na tabela 5.

Na comparação entre tratamentos em cada sistema, os maiores valores de PT ($p < 0,05$) foram observados nos tratamentos CA e FCA no sistema P_{DA}, e em CA no

sistema P_{DN}. Em P_{AE}, não houve homogeneidade de variâncias de PT para aplicação do teste Tukey. Quando comparadas as médias dos tratamentos em todos os sistemas, o menor valor de PT foi observado em PS, indicando menor qualidade estrutural desses solos, o que influencia sua capacidade de infiltração de água e maior capacidade de aeração e troca de gases entre solo e atmosfera. A maior PT observada em CA e FCA favorece o desenvolvimento das gramíneas estabelecidas nessas áreas, já que a maior oxigenação do solo favorece o desenvolvimento do sistema radicular, tendo efeito positivo sobre a produtividade da pastagem.

Tabela 5. Valores médios de porosidade total, macro e micro porosidade ⁽¹⁾ do solo sob influência de árvores e em monocultivo a pleno sol

Sistema	Tratamento ⁽²⁾	Porosidade do solo		
		Total	Micro	Macro
		————— m ⁻³ m ⁻³ —————		
P _{DA}	CA	0,57 a	0,42 a	0,15 a
	FCA	0,55 a	0,40 ab	0,15 a
	PS	0,50 b	0,39 b	0,11 b
P _{DN}	CA	0,56 a	0,37 b	0,19 a
	FCA	0,52 b	0,38 b	0,14 a
	PS	0,49 b	0,42 a	0,07 b
P _{AE}	CA	0,55	0,41 b	0,14 a
	FCA	0,57	0,46 a	0,10 b
	PS	0,52	0,45 a	0,07 c
Média Geral	CA	0,56 a	0,40	0,16 a
	FCA	0,55 a	0,42	0,13 a
	PS	0,50 b	0,42	0,08 b

⁽¹⁾ Micro: microporosidade do solo; Macro: macroporosidade do solo.

⁽²⁾ CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey (p<0,05).

Já a macroporosidade apresentou diferença significativa (p<0,05) tanto em cada sistema quanto na comparação geral, também com maiores valores para os tratamentos CA e FCA. A macroporosidade, particularmente, possui efeito direto sobre a

produtividade vegetal, sendo que proporções inferiores à 10% da porosidade total prejudicam o desenvolvimento de plantas (Klein & Libardi, 2002), proporção essa que não foi encontrada em nenhuma das observações.

Essa condição de maior volume de macroporos favorece a capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, reduzindo as taxas de erosão de solo, fator positivo para sua conservação e maior capacidade de recarga de água.

Também foi observada diferença significativa para microporosidade ($p < 0,05$) em todos os sistemas, porém não houve diferença na comparação geral das médias dos tratamentos. Sendo essa uma medida mais relacionada à capacidade de retenção de água, dado que se constitui de poros com diâmetro inferior a 0,005 mm, a água contida nesses poros é de menor disponibilidade para a absorção de plantas.

Quando comparadas as médias dos tratamentos em cada sistema, observaram-se diferentes tendências, sendo que apenas em PDA foi observada maior microporosidade em CA, enquanto que em P_{DN} e P_{AE}, ela foi menor para esse tratamento, não sendo possível, portanto, estabelecer relações entre essa medida e os tratamentos estabelecidos.

Nos resultados obtidos, observa-se uma relação inversamente proporcional entre Ds (Tabela 4) e porosidade total, corroborando com observações de Alves (1992) e Veiga et al. (1994), sendo possível constatar a interdependência dos atributos físicos aqui avaliados, principalmente Ds, PT e resistência do solo à penetração.

3.2.4. Resistência do solo à Penetração

Os valores máximo, médio e mínimo de resistência do solo à penetração (RP), são representados na Figura 1. Na Figura 2 apresentam-se as curvas de RP de acordo com a profundidade avaliada (3,5 a 6,5 cm).

Em todos os sistemas avaliados, assim como na média geral, a RP foi maior nas áreas a Pleno Sol ($p < 0,05$) quando comparada com os demais tratamentos (CA e FCA), tanto para RP média, máxima e mínima. Os resultados dessa comparação apenas reforçam os resultados das análises já discutidas (densidade e porosidade do solo), demonstrando uma melhor qualidade física do solo nos tratamentos sob manejo do componente arbóreo na pastagem.

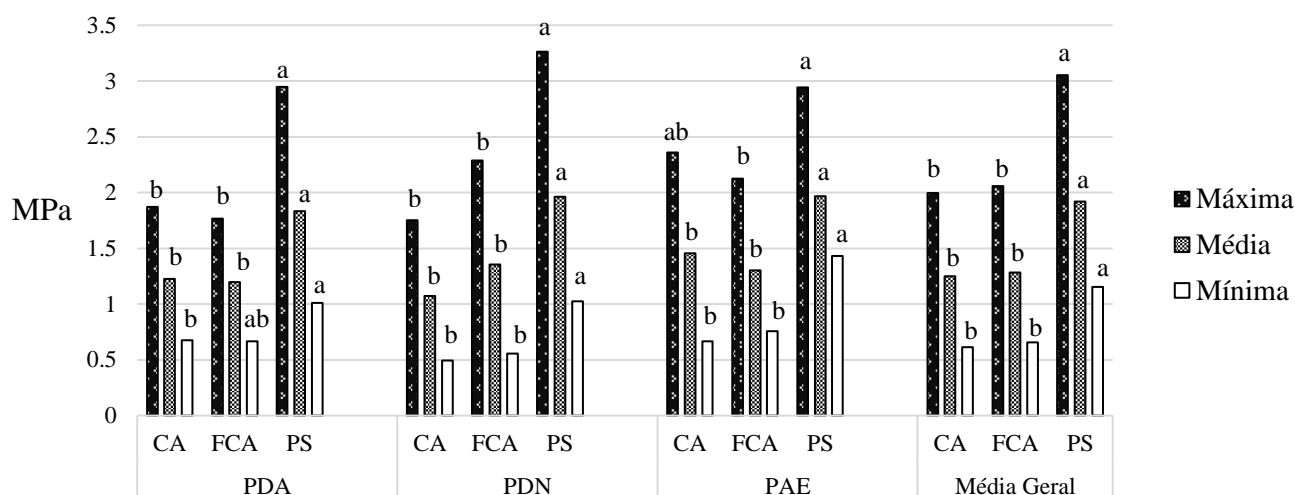


Figura 1. Resistência do Solo à Penetração (média, máxima e mínima) em pastagens da Zona da Mata de Minas Gerais. Tratamentos: CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol. Valores acompanhados pelas mesmas letras entre as colunas indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Adicionalmente, o que se observa na Figura 2 é que em todos os sistemas a curva de resistência a penetração do tratamento PS é a que se encontra mais deslocada à direita, o que indica maiores valores de resistência. No sistema P_{DA} , as curvas de CA e FCA se encontram muito próximas ao longo da profundidade avaliada. Já em P_{DN} , observa-se que a curva de CA apresenta menor resistência, e em P_{AE} , apesar da pouca diferença, FCA apresentou a curva de menor resistência.

A RP observada indica que os solos sob influência do componente arbóreo (CA e FCA) apresentaram as melhores condições físicas. A maior resistência do solo à penetração implica em maiores limitações quanto ao desenvolvimento radicular de plantas (Rosolem et al., 2002), gerando maior demanda de energia para seu crescimento. Solos com menor impedimento físico à penetração permitem melhor desenvolvimento de raízes, o que proporciona maior volume de solo explorado e maior capacidade de absorção de nutrientes (Reichert et al., 2009).

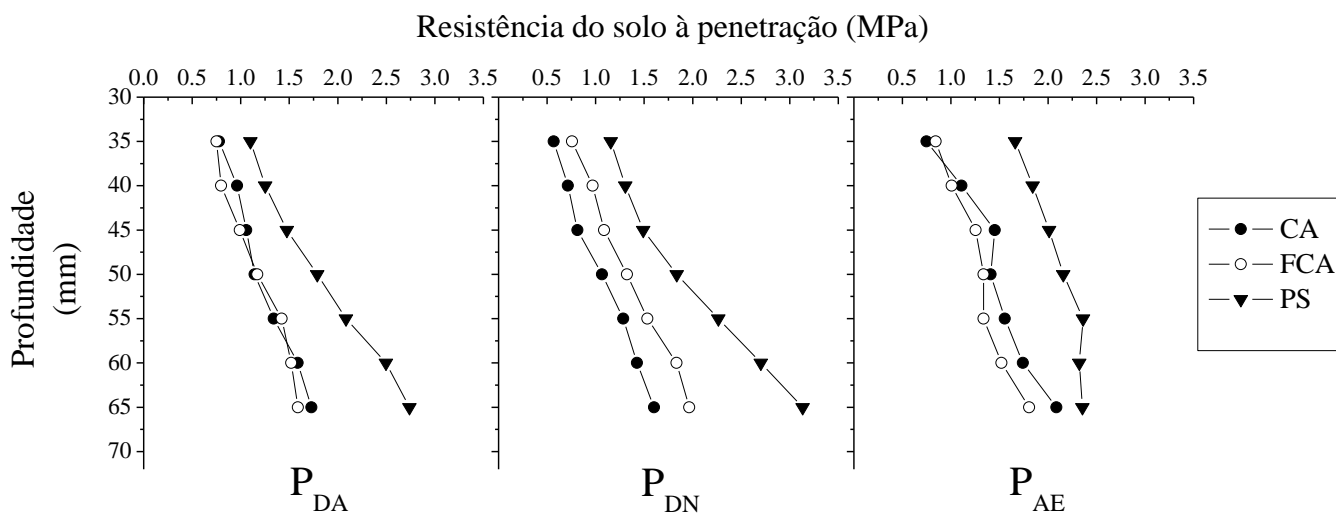


Figura 2. Curvas de resistência mecânica do solo à penetração em pastagens da Zona da Mata de Minas Gerais. Tratamentos: CA: Copa da Árvore; FCA: Fora da Copa da Árvore; PS: Pleno Sol.

Outro aspecto observado na Figura 2 é que as curvas dos tratamentos CA e FCA não ultrapassam o limite de 2 Mpa em nenhum dos sistemas avaliados, sendo esse valor considerado como possível limitante ao desenvolvimento de plantas, enquanto o tratamento PS ultrapassa esse limite aproximadamente na segunda metade da profundidade avaliada. Considerando que a profundidade avaliada representa a camada mais superficial do solo, essa elevação da RP em PS indica que as áreas de pastagem a pleno sol estão mais sujeitas aos processos de compactação logo nas primeiras camadas do solo.

3.2.5. Correlação entre atributos físicos do solo

Os dados de correlação linear entre os principais atributos físicos do solo e carbono orgânico total (COT) são demonstrados no quadro 2.

Quadro 2. Matriz de correlação linear para atributos físicos do solo e carbono orgânico total ⁽¹⁾ em pastagens da Zona da Mata de Minas Gerais

	C tot	Ds	PT	Micro	Macro	Rpmed
Ds	-0,830					
PT	0,649	-0,936				
Micro	0,539	-0,368	0,133			
Macro	0,149	-0,502	0,718	-0,594		
Rpmed	-0,368	0,684	-0,832	0,232	-0,838	
Rpmax	-0,423	0,682	-0,809	0,156	-0,767	0,910

⁽¹⁾ COT: Carbono Orgânico Total; Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade Total; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; Rpmed: Resistência média do solo à penetração; Rpmax: Resistência máxima do solo à penetração.

Valores em negrito: coeficiente de correlação de Pearson significativo ($p < 0,05$).

A partir dos resultados da matriz de correlação linear, observa-se que o COT exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a maior parte dos atributos físicos do solo, à exceção da macroporosidade. Essa observação reforça o papel da matéria orgânica sobre a qualidade física do solo, assim como a Ds, que teve correlação significativa com todos os demais, sendo esses, portanto, os principais indicadores de qualidade do solo dentre os atributos avaliados.

A resistência à penetração também obteve correlação significativa com a maior parte dos atributos, com exceção da microporosidade. Tanto a RPmed quanto a RPmax apresentaram correlação forte com a PT e macroporosidade, revelando uma dependência entre esses atributos. Portanto, constata-se que o volume de poros é de grande importância não só para a dinâmica da água no solo como também para diminuir a resistência à penetração, favorecendo assim o desenvolvimento de plantas sobre vários aspectos.

Em geral, a matriz colocada no quadro 2 indica que os atributos físicos do solo nas áreas avaliadas obedecem a uma relação de interdependência considerável, e que para se obter uma maior qualidade do solo do ponto de vista físico, é essencial a manutenção dos teores de COT, que, como já demonstrado anteriormente, foi significativamente superior na pastagem com árvores em relação à pastagem em monocultivo a pleno sol.

3.2.6. Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados

Os dados de estabilidade e distribuição de agregados (Figura 3) indicaram diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$) apenas no sistema P_{DN} , com maiores valores de DMP e DMG para os tratamentos CA e FCA.

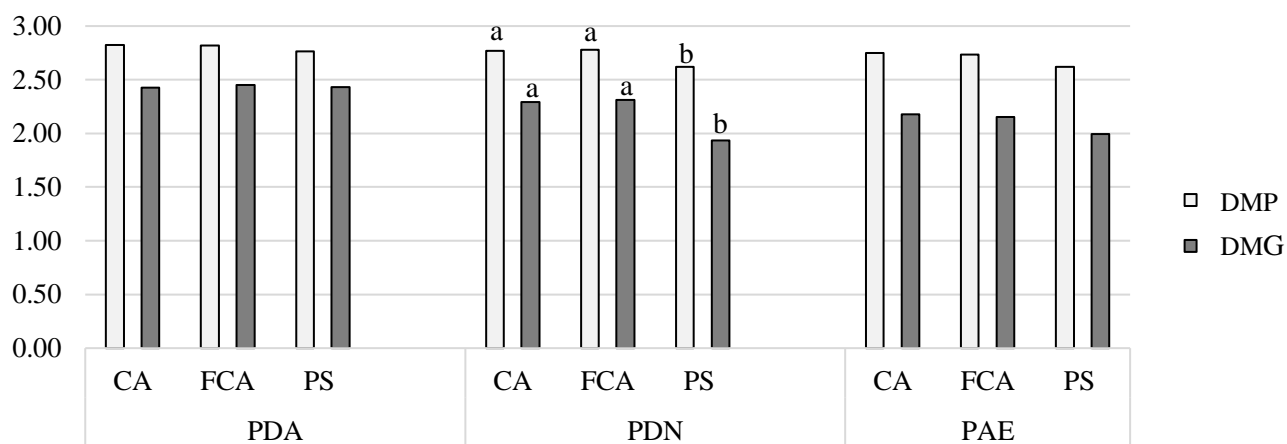


Figura 3. Estabilidade e Distribuição do tamanho de Agregados: Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG). Tratamentos: CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol. Valores acompanhados pelas mesmas letras entre as colunas indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Apesar da estabilidade de agregados ser relacionada frequentemente com o teor de matéria orgânica do solo (Tormena et al., 2004, Emran, 2012), essa relação não foi pronunciadamente verificada no presente estudo, pois os teores mais elevados de COT não refletiram em maiores valores de DMP e DMG, ao menos do ponto de vista estatístico.

Nos sistemas PDA e PAE, não se observou diferença entre os tratamentos, portanto, devido à variação de resultados entre os sistemas, pode-se dizer que o ensaio de estabilidade e distribuição de agregados não foi influenciado pelos tratamentos propostos

3.2.7. Curva característica de água no solo

A curvas característica de água no solo determinada para os diferentes sistemas e tratamentos constam na figura 4.

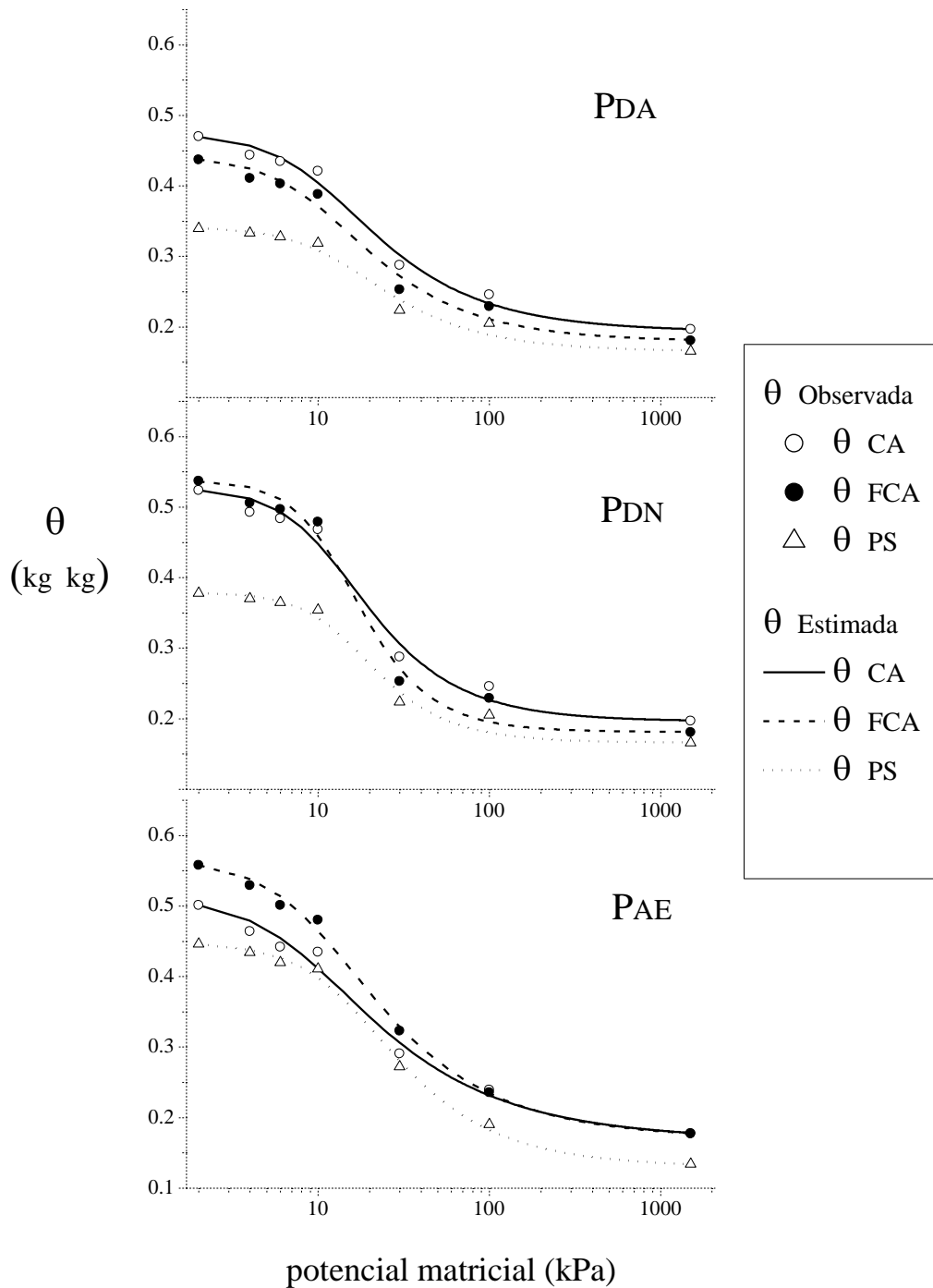


Figura 4. Curva Característica de Água no solo em pastagens da Zona da Mata de Minas Gerais. Tratamentos: CA: Copa da Árvore; FCA: Fora da Copa da Árvore; PS: Pleno Sol

As curvas de retenção de água no solo dos tratamentos apresentaram diferentes comportamentos entre os sistemas avaliados. No sistema P_{DA} as curvas dos diferentes tratamentos não apresentaram nenhuma interseção ao longo dos potenciais aplicados e a massa de água armazenada no solo nos diferentes potenciais obedeceu a seguinte ordem: CA > FCA > PS.

Em P_{DN}, a única curva que não apresentou interseção com as outras foi PS, que permaneceu abaixo das demais em todos os potenciais aplicados, indicando, portanto, menor capacidade de retenção de água na pastagem a pleno sol. A partir de 10 kPa, a curva FCA se desloca para abaixo da curva CA, comportamento que se segue até 1500 kPa. Nesse sistema, novamente a curva PS se encontra abaixo das demais, apresentando uma menor umidade ao longo de todas as tensões aplicadas.

Já em P_{AE}, observa-se que as curvas CA e FCA também se encontram com valores de umidade acima de PS, porém, a curva com maior massa de água retida ao longo das tensões de 0 a 100 kPa foi FCA.

Apesar das diferenças observadas entre os tratamentos e sistemas, alguns aspectos podem ser destacados numa comparação geral. Quando comparadas as curvas referentes aos tratamentos CA, FCA e PS, o que se observa é que as curvas de CA e FCA estão posicionadas acima da curva de PS em todos os sistemas. Esse comportamento se mostra coerente com os atributos físicos do solo observados nas outras análises realizadas, principalmente densidade e porosidade do solo (bem como macro e microporosidade), demonstrando que tais atributos possuem influência na dinâmica da água no solo (Brito et al., 2011), que por sua vez influenciam também a produtividade do sistema.

A umidade do solo relativa as primeiras tensões aplicadas (0 a 10 kPa), sendo que 10 kPa é considerada a capacidade de campo, demonstra que nessa região é onde se concentra a maior diferença entre os tratamentos. Essa região da curva, em especial, representa principalmente os efeitos relacionados à estrutura do solo, dado que é na tensão de 6 kPa que se determina o volume de macroporos, principal atributo afetado por alterações estruturais como a compactação do solo.

Portanto, a partir de uma análise visual e qualitativa, pode se dizer que o solo das áreas sob influência do componente arbóreo (CA e FCA) apresentou melhor estrutura, demonstrando que a pleno sol, pelas mais diversas causas, vem ocorrendo uma perda de estrutura desses solos, afetando assim não só a produtividade da pastagem como também

a própria função do solo enquanto meio físico de retenção, armazenamento e infiltração de água.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para atributos químicos e físicos do solo demonstram que o manejo de árvores em pastagens apresenta potencial de melhorar a qualidade do solo, dado que as áreas de pastagem sob influência do componente arbóreo, seja sob o raio de projeção da copa ou fora dele, apresentaram, no geral, melhores condições químicas e físicas do solo.

Do ponto de vista químico, os resultados indicaram que as pastagens arborizadas apresentaram não só maiores concentrações de nutrientes no solo, como melhores condições para a retenção e disponibilidade destes para as plantas forrageiras estabelecidas, principalmente em função dos teores de carbono orgânico do solo.

Dentre os atributos físicos do solo, destacam-se a menor densidade do solo, maior porosidade e menor resistência do solo à penetração na pastagem arborizada em comparação à pastagem a pleno sol. Esses resultados refletem uma menor alteração estrutural no solo sob a pastagem arborizada, o que se observa pelo maior volume de poros, especialmente de macroporos, bem como menor densidade relativa, relacionada ao grau de compactação do solo.

A curva característica de água no solo para os diferentes tratamentos também demonstra que o componente arbóreo influenciou positivamente o armazenamento de água na profundidade avaliada. Tais observações indicam que a contribuição das árvores na pastagem perpassa pela melhoria da qualidade física do solo, influenciando diretamente a dinâmica da água nesses sistemas, favorecendo a infiltração e retenção de água, diminuindo o escoamento superficial e seus efeitos erosivos.

Conclui-se, portanto, que os solos das pastagens arborizadas apresentaram melhores condições físicas e químicas quando comparados à pastagem em monocultivo a pleno sol.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: Efeitos nas propriedades físicas e químicas.** Tese de Doutorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1992. 173p.
- BEUTLER, A. N.; FREDDI, O.S.; LEONEL, C.L. & CENTURION, J.F. Densidade do solo relativa e parâmetro “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, p.27-36, 2008.
- BRITO, A. S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O., Estimativa da Capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1939-1948. 2011.
- CAJAS-GIRON, Y. S.; SINCLAIR, F. L. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. **Agroforestry Systems**, v.53, p.215-225, 2001.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação dupla van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.77-86. 2011.
- CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, v.70, p.425-433, 1990.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.
- COSTA, C. M. R.; G. HERMANN; C. S. MARTINS; L. V. LINS & I. R. LAMAS (org.). **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação.** Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998. 94p
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.
- DUARTE, E. M. G., CARDOSO, I. M., STIJNEN, T., MENDONÇA, M. A. F. C., COELHO, M. S., CANTARUTTI, R. B.. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.87, p.835-847, 2013.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMRAN, M., GISPERT M., PARDINI G.. Patterns of soil organic carbon, glomalin and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands. **European Journal of Soil Science**, v.63, p.637–649, 2012.

- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.913-932, 2010.
- FIDALSKI, J., TORMENA, C. A., CECATO, U., BARBERO, L. M., LUGÃO, S. M. B., & COSTA, M. A. T.. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1583-1590, 2008.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Série Técnica, 3. CPFRC, Belo Horizonte, BR. 1975. 181p.
- HAILE, S. G.; NAIR, V. D.; NAIR, PK R.. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. **Global Change Biology**, v.16, p.427-438, 2010.
- HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil Tillage Research**. 16:105-120, 1990.
- HÅKANSSON, I. & LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil Tillage Research**., 53:71-85, 2000.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- HOWLETT, D. S., MOSQUERA-LOSADA, M. R., NAIR, P. K., NAIR, V. D., & RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. **Journal of environmental quality**, v.40, p.825-832, 2011.
- JORGE, R. F., CORÁ, J. E., BARBOSA, J. C., Número mínimo de tensões para determinação da curva característica de retenção de água de um Latossolo Vermelho eutrófico sob sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1831-1840, 2010.
- KER, J. C. **Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 181 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, (1995).
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.
- KLEIN, V. A. Densidade relativa-um indicador da qualidade física de um latossolo vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, p.26-32, 2006.
- KRUSCHEWSKY, G.C. **Distribuição Espacial de Fezes de Bovinos em Sistema Silvopastoril e em Convencional: Estudo de Caso no Noroeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v.304, p.1623–1627, 2004.
- LEVY, G.J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**, v.155, p.15-22, 1993.
- LIPIEC, J., TARKIEWICZ, S., & KOSSOWSKI, J.. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.307-317, 1991.

- MACHADO, L. C. P. **Pastoreio Racional Voisin: Tecnologia Agroecológica para o 3º Milênio** / Luiz Carlos Pinheiro Machado. 2 ed. São Paulo. Expressão Popular, 2010. 376p.
- MARCOLIN, C. D. **Propriedades físicas de um Nitossolo e Latossolos Argilosos sob plantio direto**. 2006. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) FAMV-UPF. Passo Fundo, 2006.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A.. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 531-538, 2001.
- NAIR, P. K. R.. **An introduction to agroforestry**. Springer Science & Business Media, 1993.
- PERFECTO, I., VANDERMEER, J., WRIGHT, A., 2009. **Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty**. Cap.2. p.11-33. Earthscan, London.
- PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais** / Ana Primavesi. – São Paulo, ed. Nobel. 1984. 184p.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T.M.; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; SCOPEL, E. & BALBINO, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12. p.381-384, 2008.
- REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; BASANTA, M.V.; CAVALCANTE, L.F.; TERUEL, D.A.; BACCHI, SANTOS, O.O.; TOMINAGA, T.T.; CERRI, C.C. & TRIVELIN, P.C.O. **Management of crop residues for sustainable crop production**. IAEA-TECDOC, v.1354, p.149-169, 2003.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. & REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.v.5, p.49-134.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: **5. Aproximação**. **Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, 1999. p. 13-24.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, v.65, p.109-115, 2002.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.
- STATSOFT, INC. (2015). STATISTICA (data analysis software system), version 13. www.statsoft.com.

- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, p.795-801, 2002.
- TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1028-1031, 2004
- van GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p.892-897, 1980.
- VEIGA, M.; BASSIL, L. & ROSSO, A. **Degradação do solo e da água: Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2.ed. Florianópolis, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994. 384p.

CAPÍTULO 2

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FORRAGEM EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

1. INTRODUÇÃO

As pastagens constituem uma importante forma de uso da terra no Brasil, tanto pela extensão da área ocupada, cerca de 170 dos 360 milhões de hectares da área agrícola total do país (IBGE, 2012), como pelo impacto que essa forma de ocupação representa em função da degradação dessas áreas pelo manejo inadequado.

Por um lado, a degradação dos solos dificulta o estabelecimento de plantas e afeta a capacidade produtiva das terras. O solo degradado dificulta a capacidade de produção e recuperação das plantas forrageiras do sistema (Machado, 2010). Por outro lado, quanto menor a capacidade produtiva da pastagem, maior a susceptibilidade do solo aos processos de degradação e com isto ocorre o declínio do sistema pela incapacidade de se produzir biomassa (Primavesi, 1984).

O desenvolvimento de técnicas de manejo que melhorem a conservação do solo é essencial para se buscar elevar a produtividade não só de pastagens, mas de todos os agroecossistemas. Dentre as diversas técnicas de manejo disponíveis com essa finalidade, prioridade deve ser direcionada àquelas que requeiram menor dispêndio de energia e de aporte de insumos externos, tecnologia e mão de obra (Altieri, 2002; Gliessman, 2001). Essas técnicas são especialmente importantes para a agricultura familiar, devido às suas peculiaridades e características sociais, econômicas e técnicas que, normalmente envolvem menor escala de produção, emprego da mão-de-obra familiar e acesso mais restrito a crédito e investimentos (Buainain et al., 2003).

As técnicas de base agroecológica, como os sistemas agroflorestais, são capazes de conciliar aspectos produtivos e conservacionistas, desde que sejam potencializadas as funções dos agroecossistemas e seus principais atributos, como a produtividade, a estabilidade e a flexibilidade (Caporal & Costabeber, 2004). A produtividade consiste na função básica da unidade de produção agropecuária, que é a de prover bens, recursos e ganhos econômicos na propriedade. Nesse aspecto, os sistemas silvipastoris possuem a

capacidade de produzir forragem equivalente ou superior aos sistemas em monocultivo a pleno sol (Carvalho et al., 2002; Bosi et al., 2014), além de gerar outros ganhos econômicos pela produção de madeira. Além do aspecto produtivo, os sistemas silvipastoris também podem gerar ganhos indiretos ao promover maior conservação do solo e da água, bem como potencializar a ciclagem de nutrientes (Payne, 1985). Tais efeitos permitem aos sistemas silvipastoris cumprir outras funções nos agroecossistemas, como a resiliência, que é a capacidade do sistema se manter estável frente às instabilidades ambientais e a flexibilidade, que se dá pela capacidade do sistema em se adequar a cenários alternativos de forma estratégica e dinâmica. Tanto a produtividade quanto a estabilidade e flexibilidade são favorecidas quando se ampliam as formas de uso e exploração da terra, a partir do aumento da diversidade dos sistemas, como nos sistemas silvipastoris.

O sombreamento nos sistemas silvipastoris eleva também o potencial do valor nutritivo das forrageiras (Sousa et al., 2007). O sombreamento tende a diminuir os percentuais de parede celular, reduzindo o teor de fibras e elevando os teores de proteína bruta e a própria digestibilidade da gramínea (Paciullo et al., 2007). O maior teor de proteína bruta em gramíneas sob sombreamento é relacionado, principalmente, ao prolongamento do período juvenil da planta (Sousa et al., 2007), o que permite maior tempo para a manutenção de níveis metabólicos mais elevados e, conseqüentemente, dos nutrientes disponíveis aos animais pelo pastejo.

Diante das potencialidades associadas ao manejo dos sistemas silvipastoris, objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos do componente arbóreo sobre a produtividade e a qualidade nutricional das pastagens em propriedades rurais familiares da Zona da Mata de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo e do componente arbóreo e forrageiro nas pastagens

O estudo sobre a produtividade e qualidade da forragem foi realizado nos municípios de Araponga e Divino, estado de Minas Gerais, mesorregião da Zona da Mata. Foram selecionadas uma propriedade em Araponga e duas em Divino, todas de produtores e produtoras rurais da agricultura familiar. Nessas propriedades foram selecionadas áreas de pastagem que contassem com parcelas arborizadas e em monocultivo a pleno sol, pastagens essas denominadas sistemas, cuja identificação se deu pelas iniciais do município seguida da inicial do nome dos proprietários, sendo os sistemas denominados de P_{DA} , P_{DN} e P_{AE} .

Para se avaliar os efeitos do componente arbóreo sobre a produtividade e qualidade da pastagem, foram definidos os seguintes tratamentos em cada um dos sistemas avaliados:

Copa da Árvore (CA): área de projeção da copa. Nesse tratamento, os pontos de coleta foram instalados a uma distância equivalente à metade do raio de projeção da copa.

Fora da Copa da Árvore (FCA): área fora da área de projeção da copa. Os pontos de coleta foram instalados entre as árvores selecionadas para o tratamento CA, a uma distância intermediária entre os indivíduos arbóreos selecionados.

Pleno Sol (PS): área fora da influência do componente arbóreo, representando uma pastagem em monocultivo a pleno sol, ou seja, sem sombreamento e sem aporte significativo de material vegetal originário das árvores.

A caracterização geral das áreas avaliadas é apresentada na Tabela 1, assim como os dados de identificação botânica do componente arbóreo e da. A altura média das árvores nos sistemas P_{DA} , P_{DN} e P_{AE} era, respectivamente, de 12, 11 e 9 m.

Tabela 1. Caracterização das áreas de estudo, do componente arbóreo e forrageiro em sistema silvipastoris e pastagens a pleno sol na Zona da Mata de Minas Gerais

Sistema	Coordenadas	Altitude (m)	Área (ha)	Face de Exposição	Forma do Relevo	Posição na Paisagem
P _{DA}	20°40'57.10"S 42° 7'48.32"O	1020	0,57	Leste	Convexo	Terço Médio/Superior
P _{DN}	20°30'52.61"S 42° 5'54.54"O	930	1,62	Sul	Côncavo	Terço Médio
P _{AE}	20°38'35.33"S 42°29'56.29"O	1270	0,62	Sul-Oeste	Plano	Terraço

Sistema	Componente arbóreo			Componente Forrageiro	
	Nome popular	Família	Nome científico	Tratamento ⁽¹⁾	Espécie forrageira
P _{DA}	Ipê Preto	Bignoniaceae	<i>Zeyheria turberculosa</i>	CA	<i>Brachiaria decumbens</i>
	Ipê amarelo	Bignoniaceae	<i>Tabebuia alba</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Brachiaria decumbens</i>
P _{DN}	Orvalheira	Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	CA	<i>Brachiaria decumbens</i>
	Óleo Pardo	Fabaceae	<i>Myroxylon peruiferum</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Brachiaria decumbens</i>
P _{AE}	Abacateiro	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	CA	<i>Panicum Maximum cv. Mombaça</i>
	Capoeira Branca	Solanaceae	<i>Solanum mauritianum Scop.</i>	FCA	<i>Brachiaria decumbens</i>
				PS	<i>Cynodon Dactylon var tifton 85</i>

⁽¹⁾ CA: Copa da árvore; FCA: Fora da copa da árvore; PS: Pleno Sol

2.2. Amostragem, coleta e processamento de amostras

O método de amostragem empregado foi o de amostragem direta, com corte e coleta da massa de forragem, adotando-se a técnica de simulação manual do pastejo (Moraes et al., 2005). Para isto, foram utilizadas gaiolas de exclusão com 1,0 x 1,0 m (1 m²), dimensões indicadas para áreas pouco homogêneas ou com predominância de forrageiras com hábito de crescimento prostrado ou subprostrado (Salman, 2006), como é o caso das gramíneas do gênero *Brachiaria*. A coleta do material vegetal foi efetuada em quadros de 0,5 x 0,5 m (0,25m²), no centro da gaiola, eliminando-se assim a área de bordadura.

Cada tratamento recebeu a instalação de cinco gaiolas, constituindo assim cinco repetições, distribuídas aleatoriamente pela área nos tratamentos FCA e PS. No tratamento CA foram selecionadas cinco árvores com dimensões e arquitetura da copa semelhantes, sendo as gaiolas instaladas debaixo da copa.

O período de coleta foi de fevereiro a março de 2016, sendo previamente efetuado um corte de padronização das áreas selecionadas 30 dias antes da primeira coleta. No total, foram efetuadas duas coletas, em intervalo de 30 dias, para avaliação dos tratamentos. A produtividade de matéria seca por hectare foi calculada a partir da média dos dois cortes, enquanto que os resultados de qualidade da forragem foram obtidos pela análise de uma amostra composta das duas coletas realizadas.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e pesadas no campo para determinação da matéria fresca. Após a pesagem em campo, as amostras foram submetidas à secagem em estufa de ar quente forçado a 65 °C por 72 h, para a determinação da matéria seca por área, que foi expressa em kg ha⁻¹.

Após a determinação da matéria seca, as amostras secas foram submetidas à moagem em moinho tipo Willey e acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificados e vedados para análises posteriores, procedimento que não compromete a conservação do material em função do teor de umidade residual extremamente baixo.

2.3. Análise de qualidade da forragem

Na análise da qualidade nutricional da pastagem, utilizou-se amostragem composta por tratamento, formada pela combinação e homogeneização de subamostras coletadas nos meses de fevereiro e março de 2016.

A qualidade nutricional da forrageira foi avaliada utilizando-se o método da espectroscopia de refletância por infravermelho próximo, mais comumente conhecido como NIRS (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*). Trata-se de um método de determinação indireta, que opera pela leitura espectral dos comprimentos de onda emitidos pelos diferentes compostos químicos presentes nas amostras, com leitura baseada na calibração das curvas por meio do método padrão para cada tipo de análise (Marten et al., 1985), sendo o método capaz, portanto, de prognosticar valores nutricionais de diferentes tipos de material por meio da calibração (Kjos, 1990). Esse método é amplamente empregado não só na análise de alimentos, mas também na identificação de diversos componentes e substâncias presentes em materiais orgânicos nas mais diversas áreas de estudo. O grau de confiabilidade do método, portanto, depende diretamente da qualidade da calibração dos aparelhos de leitura, o que perpassa pelo seguimento cuidadoso dos passos necessários durante os processos de calibração, como a seleção ampla de amostras, a determinação das equações, a validação de resultados e o estabelecimento de rotinas analíticas (Shenk & Westerhaus, 1994).

Apesar de ser um método indireto, o NIRS proporciona benefícios em seu uso em estudos, principalmente pelo seu baixo custo e rapidez na realização das análises (Corson et al., 1999), além de isolar as fontes de variação relacionadas aos procedimentos manuais de laboratório, sendo essas suas principais vantagens em relação ao método químico.

A análise de produtividade consistiu basicamente da produção de matéria seca (MS), enquanto a qualidade da forragem considerou a avaliação do teor de matéria seca da biomassa (%MS), proteína bruta (PB), proteína indigestível em detergente neutro (PIDN), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, extrato etéreo, cinzas, carboidratos não fibrosos (CNF), nutrientes digestíveis totais (NDT), e teores de Ca, P, K, Mg e S.

2.4. Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi efetuada comparando-se os tratamentos propostos, tanto dentro de cada sistema como considerando todos os três sistemas avaliados.

Para avaliação da normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5% de probabilidade. Para verificação da homogeneidade de variância foi aplicado o teste de Levene.

Após a verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância, os dados foram submetidos à comparação das médias dos tratamentos pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Também foram geradas as matrizes de correlação linear entre os dados de produtividade e qualidade da forragem com os atributos físicos e químicos do solo, utilizando-se do coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$). Nas matrizes de correlação foram considerados os dados de todos os tratamentos e sistemas avaliados.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software Statistica® (Statsoft) versão 13.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na avaliação da forragem nos diferentes sistemas por tratamentos encontram-se na Tabela 2. A produtividade de matéria seca nos tratamentos sob influência das árvores (CA e FCA) foi maior ($p < 0,05$) do que no tratamento PS nos sistemas P_{DA} e P_{DN}.

No sistema P_{AE}, a maior produtividade foi verificada no tratamento CA, seguida de PS e FCA. Nesse sistema, as espécies forrageiras predominantes em cada tratamento foram diferentes (tabela 1), representando uma fonte de interferência nos resultados obtidos, considerando que cada espécie possui suas próprias características agronômicas e apresenta diferentes padrões de resposta em função dos atributos físicos e químicos do solo.

Quando comparados os sistemas, observa-se que as maiores produtividades obtidas em P_{DA} e P_{DN} foram 1333 kg ha⁻¹ (tratamento FCA) e 1502 kg ha⁻¹ (tratamento CA), respectivamente, onde a forragem predominante foi *Brachiaria decumbens*. Ambas

foram inferiores aos 1545 kg ha⁻¹ (FCA) obtidos em P_{AE}, onde houve predomínio da mesma espécie forrageira.

O que se observa em todos os sistemas é que o componente arbóreo não afetou negativamente a produtividade de matéria seca, inclusive elevando-a nos sistemas P_{DA} e P_{DN}, sendo que nesses sistemas houve predomínio da mesma espécie de forragem em todos os tratamentos (*Brachiaria decumbens*).

Quando comparados os dados dos tratamentos em todos os sistemas, observa-se que a sequência de maiores produtividades obedeceu a seguinte ordem: CA (a) > FCA (ab) > PS (b)

Maiores teores de matéria seca (%MS) na biomassa foram verificados no tratamento PS em todos os sistemas avaliados, bem como na média geral dos sistemas, o que demonstra o efeito do componente arbóreo na manutenção de forragens mais tenras e com maior teor de umidade. Isto representa um efeito positivo das árvores, dado que gramíneas com menor teor de matéria seca tendem a ser mais digestíveis e com isso geram maiores ganhos em termos de desempenho animal.

Tabela 2. Produtividade e qualidade de forragem ⁽¹⁾ em sistemas silvipastoris e pastagens a pleno Sol da Zona da Mata de Minas Gerais (Valores médios provenientes de duas coletas efetuadas nos meses de fevereiro e março)

Sistema	Tratamento	MS	%MS	PB	FDN	Lig	EE	Cinzas	CNF	NDT
		kg/ha ⁻¹	%	%MS						
P _{DA}	CA	1083 ab	27 b	10,7 a	56,8 b	4,8 b	1,7 a	8,5	22,8 b	58,1
	FCA	1333 a	27 b	10,7 a	56,9 b	4,9 b	1,6 a	8,2	23,2 b	58,5
	PS	769 b	31 a	6,3 b	58,9 a	5,3 a	1,5 b	7,1	26,8 a	57,9
P _{DN}	CA	1502 a	21 c	14,4 a	54,5 b	5,0	1,7 b	9,6 a	20,6 b	57,7 b
	FCA	1330 ab	26 b	9,8 a	60,2 a	5,3	1,7 b	8,3 b	21,1 b	56,6 b
	PS	671 b	30 a	7,3 b	59,6 a	4,1	2,6 a	8,4 ab	24,1 a	59,9 a
P _{AE}	CA	2437 a	19 b	12,8	60,1	5,3	2,0	10,6	16,9 b	55,0
	FCA	1545 b	22 ab	10,9	62,1	5,6	1,8	9,8	17,4 b	54,4
	PS	1813 ab	25 a	9,1	62,1	5,4	1,7	8,2	20,1 a	56,0
Média Geral	CA	1663 a	22 c	12,6 a	57 b	5,3	1,8	9,6 a	20 b	57 b
	FCA	1345 ab	25 b	10,5 b	60 a	5,6	1,7	8,8 ab	21 b	57 b
	PS	1042 b	29 a	7,8 c	60 a	5,4	1,9	7,9 b	24 a	58 a

⁽¹⁾ MS: Matéria Seca (média de 2 meses no período de chuvas); PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; Lig: Lignina; CNF: Carboidratos não fibrosos; NDT: Nutrientes digestíveis totais.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey (p<0,05).

Em relação aos parâmetros nutricionais observados, os sistemas P_{DA} e P_{DN} apresentaram padrões semelhantes, o que pode ser explicado pela homogeneidade das forrageiras estabelecidas, compostas predominantemente por *Brachiaria decumbens*. Em ambos os sistemas, os teores de PB foram mais elevados nos tratamentos CA e FCA. Nesses mesmos tratamentos os teores de PIDN foram inferiores em relação a PS, o que demonstra que a pleno sol, além do menor teor de PB uma maior parte dessa proteína deixa de ser aproveitada pelo consumo.

Considerando a PB como um dos fatores mais limitantes na produção de bovinos, principalmente em função das fontes disponíveis, os resultados obtidos demonstram a importância das árvores nesses sistemas, dado que os valores observados não só foram superiores nas áreas arborizadas, como também foram superiores as médias citadas por Valadares-Filho et al. (2010), que para *Brachiaria decumbens*, no período das águas em condições tropicais, encontraram teores de PB na ordem de 9,4%. Na avaliação geral dos sistemas, também houve diferença significativa entre todos os três tratamentos.

Em P_{DA} e P_{DN}, os teores de FDN também foram menores nos tratamentos CA e FCA. Esse dado reforça a hipótese de que pastagens arborizadas tendem a produzir forragens com menor teor de fibras, o que favorece o consumo, uma vez que a FDN representa a fibra que permanece por mais tempo no processo de ruminação, ocupando espaço no rúmen e impedindo o animal de consumir mais forragem e, conseqüentemente, mais nutrientes necessários ao seu metabolismo (Van Soest, 1991).

O teor de cinzas foi superior no tratamento CA em todos os sistemas, indicando maior acúmulo de nutrientes das forragens cultivadas sob esse tratamento.

Já o teor de CNF foi superior no tratamento PS em todos os sistemas avaliados. Os Carboidratos Não Fibrosos (CNF) constituem fração composta por pectina e conteúdo celular, sendo, portanto, uma fração facilmente digestível no ambiente ruminal (Mertens, 1996), possuindo relação direta com outras entidades nutricionais, uma vez que é estimada a partir da equação:

$$\text{CNF} = 100 - (\text{PB} + \text{FDN} + \text{EE} + \text{Cinzas})$$

O teor de CNF superior no tratamento PS está associado principalmente ao baixo teor de PB e de cinzas observados nas gramíneas coletadas nesse tratamento, uma vez que os teores de EE e FDN apresentaram pouca variação entre os tratamentos.

Os teores de lignina foram relativamente altos em todos os tratamentos quando comparados aos teores observados por Valadares Filho et al. (2010) para *Brachiaria decumbens* e *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 em condições tropicais, que foram 3,42% e 3,31%, respectivamente. A lignina, apesar da proporção relativamente baixa na composição de forragens, apresenta alta correlação negativa em termos de digestibilidade dos alimentos (Weiss, 1998). No entanto, pouco se pode dizer sobre o efeito dos tratamentos sobre o teor de lignina, dado que as diferenças entre tratamentos foram variáveis em cada um dos sistemas avaliados.

O mesmo se pode dizer sobre os teores de EE, que também variaram de forma distinta entre tratamentos nos diferentes sistemas. Apesar de não se observar um padrão de variação, os resultados encontrados mostram-se coerentes com os obtidos por Valadares Filho et al. (2010), que observaram teores de 1,35% de EE em *Brachiaria decumbens* cultivada no período das águas.

Os resultados da análise da composição química encontrados nas forrageiras constam na tabela 3.

O P foi o único nutriente que alterou em função do efeito arbóreo nos diferentes tratamentos e sistemas. Os teores de P no tratamento CA foram superiores ($p < 0,05$) aos demais tratamentos em todos os sistemas avaliados. Contudo, quando se comparam os tratamentos com valores de todos os três sistemas, observa-se que houveram incrementos de Ca, Mg, P e S nos tratamentos CA e FCA, sendo a concentração de K a única que não apresentou diferença nessa comparação geral. Os dados aqui apresentados, portanto, corroboram com dados de outros autores. Os teores de Ca, Mg e K e P aumentaram em forrageiras, incluindo *B. decumbens* e *P. maximum*, sob 30 e 60% de sombra (Castro et al. 2001; Souto & Aronovich, 1992 e Eriksen & Whitney 1981).

Tabela 2. Teor de nutrientes na forragem ⁽¹⁾, em porcentagem de matéria seca, nos diferentes tratamentos e sistemas avaliados (Valores médios provenientes de duas coletas efetuadas nos meses de fevereiro e março)

Sistema	Tratamento	Ca	P	K	Mg	S
		%MS				
P _{DA}	CA	0,73	0,28 a	1,60	0,50	0,26 a
	FCA	0,71	0,26 a	1,60	0,47	0,25 a
	PS	0,63	0,20 b	1,21	0,42	0,20 b
P _{DN}	CA	0,68 a	0,34 a	1,94	0,46 a	0,27 a
	FCA	0,64 a	0,26 b	1,41	0,42 a	0,22 b
	PS	0,32 b	0,22 c	1,80	0,24 b	0,15 c
P _{AE}	CA	0,50	0,37 a	3,49 a	0,31	0,20
	FCA	0,43	0,32 ab	3,19 a	0,28	0,18
	PS	0,47	0,28 b	2,36 b	0,29	0,18
Média Geral	CA	0,64 a	0,33 a	2,34	0,42 a	0,24 a
	FCA	0,59 ab	0,28 b	2,07	0,39 a	0,22 b
	PS	0,49 b	0,23 c	1,74	0,32 b	0,18 c

MS: Matéria Seca; Ca: Calcio; P: Fósforo; K: Potássio; Mg: Magnésio; S: Enxofre.

Valores acompanhados pelas mesmas letras em cada coluna indicam igualdade entre as médias dos tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A maior concentração de nutrientes nas forrageiras cultivadas sob sombreamento é relacionada por alguns autores ao menor teor de matéria seca da forragem nessas condições. A condição de sombreamento implica em um crescimento mais lento das plantas, resultando em maior proporção de folhas verdes e na manutenção de níveis mais elevados de minerais (Carvalho et al., 1995). Em situação de sombra moderada, ocorre um esforço da planta em aumentar sua área foliar, resultando em redução do número de perfilhos (Bahmani et al., 2000), o que faz com que os fotoassimilados acumulem-se nos perfilhos e folhas já existentes, elevando assim, a concentração na biomassa.

As matrizes de correlação entre atributos físicos e os parâmetros produtivos e nutricionais da forragem (Quadro 1) demonstram que a produtividade (MS/ha) foi significativamente afetada ($p < 0,05$) pela Ds e PT, sendo que esses atributos físicos

afetaram também o teor de PB e de cinzas da forragem, bem como os teores de P e K.

Essa correlação aponta a importância da qualidade física do solo, principalmente em termos de densidade e porosidade, dado que esses atributos, mesmo que com um nível de correlação baixo, afetaram a produtividade do sistema.

Quadro1. Matriz de correlação linear entre atributos físicos do solo ⁽¹⁾ e parâmetros produtivos e nutricionais da forragem ⁽²⁾ em sistemas silvipastoris e pastagens a pleno sol na Zona da Mata de Minas Gerais

	MS/ha	%MS	PB	FDN	Cinzas	Ca	P	K	Mg
Ds	-0,431	0,452	-0,328	-0,123	-0,413	0,136	-0,509	-0,518	0,117
PT	0,324	-0,418	0,369	-0,033	0,336	-0,011	0,474	0,356	0,031
Micro	0,234	-0,006	-0,209	0,506	0,089	-0,361	-0,007	0,374	-0,396
Macro	0,099	-0,335	0,447	-0,382	0,211	0,245	0,389	0,027	0,303
Rpmed	-0,146	0,378	-0,455	0,243	-0,241	-0,271	-0,439	-0,115	-0,304
Rpmax	-0,202	0,381	-0,447	0,277	-0,279	-0,261	-0,463	-0,155	-0,310

⁽¹⁾ Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade Total; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; Rpmed: Resistência média do solo à penetração; Rpmax: Resistência máxima do solo à penetração.

⁽²⁾ MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; Ca: Cálcio; P: Fósforo; K: Potássio; Mg: Magnésio.

Valores em negrito: coeficiente de correlação de Pearson significativo ($p < 0,05$).

Na correlação entre a produtividade e qualidade da forragem e os atributos químicos do solo (Quadro 2), observa-se que a produtividade, bem como o teor de MS da forragem (%MS) foram afetados significativamente ($p < 0,05$) pela concentração de P e K no solo, bem como pela SB, t, T e C tot. Nota-se que a produtividade da forragem possui relação diretamente proporcional ao incremento nesses atributos químicos do solo, enquanto que o teor de MS na biomassa possui relação inversamente proporcional, o que leva a conclusão de que a maior qualidade química do solo influencia positivamente a pastagem.

Quadro2. Matriz de correlação linear entre atributos químicos do solo ⁽¹⁾ e parâmetros produtivos e nutricionais da forragem ⁽²⁾ em sistemas silvipastoris e pastagens a pleno sol na Zona da Mata de Minas Gerais

	MS/ha	%MS	PB	Cinzas	Ca	P	K	Mg
pH H ₂ O	0,240	-0,159	-0,213	-0,005	-0,220	0,079	0,396	-0,307
P (solo)	0,481	-0,396	0,074	0,236	-0,396	0,338	0,579	-0,451
K (solo)	0,551	-0,533	0,210	0,246	-0,301	0,407	0,643	-0,448
Ca (solo)	0,271	-0,268	0,065	0,267	-0,210	0,197	0,392	-0,182
Mg (solo)	0,150	-0,220	0,241	0,116	0,342	0,148	0,030	0,367
SB	0,304	-0,319	0,135	0,265	-0,101	0,232	0,376	-0,084
t	0,294	-0,318	0,143	0,254	-0,076	0,236	0,359	-0,054
T	0,392	-0,323	0,181	0,280	-0,028	0,322	0,387	-0,010
C tot	0,523	-0,434	0,176	0,353	-0,147	0,436	0,613	-0,192

⁽¹⁾ pH H₂O: pH em água, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, SB: Soma de Bases, t: CTC efetiva, T: CTC a pH 7, C tot: Carbono Orgânico Total

⁽²⁾ MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; Ca: Cálcio; P: Fósforo; K: Potássio; Mg: Magnésio

Valores em negrito: coeficiente de correlação de Pearson significativo (p<0,05).

Dentre os nutrientes presentes na forragem, observa-se que o que obteve maior número de correlações significativas foi o teor de K da biomassa, que não apresentou correlação significativa apenas com o teor de Mg do solo.

O teor de PB, contudo, não apresentou correlação significativa com nenhum dos atributos químicos avaliados, contrariamente à correlação com os atributos físicos, onde PB não apresentou correlação significativa apenas com a microporosidade, levando a conclusão que o teor de PB na forragem no presente estudo está mais relacionado à qualidade física do que química do solo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O componente arbóreo em pastagens possui efeito positivo sobre a produtividade e qualidade nutricional da pastagem no período de coleta realizado (período de chuvas). Contudo, para se obterem dados mais consistentes quanto aos efeitos do componente arbóreo sobre a pastagem se mostram necessários estudos de médio e longo prazo, com observações mais frequentes e em diferentes períodos do ano.

Os resultados obtidos demonstram o potencial do componente arbóreo na pastagem não só para a conservação do solo, mas também para aumento do rendimento e produtividade. Isto é uma forma de melhorar a produtividade com os recursos do próprio sistema, o que contribui para uma maior sustentabilidade na atividade pecuária.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba-RS: Ed. Agropecuária, 2002.
- BAHMANI, I., HAZARD, L., VARLET-GRANCHER, C., BETIN, M., LEMAIRE, G., MATTHEW, C., & THOM, E. R. Differences in tillering of long-and short-leaved perennial ryegrass genetic lines under full light and shade treatments. **Crop Science**, v.40, p.1095-1102, 2000.
- BOSI, C., PEZZOPANE, J. R. M., SENTELHAS, P. C., SANTOS, P. M., & NICODEMO, M. L. F.. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.449-456, 2014.
- BUAINAIN, A. M., ROMEIRO, A. R., GUANZIROLI, C.. Agricultura familiar e o novo mundo rural. **Sociologias**, v.5, 2003.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.. **Agroecologia: Alguns Conceitos e Princípios**. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 24p.
- CARVALHO, M.M., FREITAS, V.P., ANDRADE, A.C.. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicais**, v.17, p.24-30. 1995.
- CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.717-722, 2002.
- CASTRO, C. R. T., GARCIA, R., CARVALHO, M. M., & DE PAULA FREITAS, V., Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1959-1968, 2001.

- CORSON, D.C., WAGHORN, G.C., ULYATT, M.J., LEE, J.. NIRS: Forage analysis and livestock feeding. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, v.61, p.127-132, 1999.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v.73, p.427-433, 1981.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. da Univ. Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 771p
- KJOS, N.P. Evaluation of the feeding value of fresh forages, silage and hay using near infrared reflectance analysis (NIR). II - Effect of drying procedure, type of mill and particle size. **Norwegian Journal of Agriculture Science**, v.4, p.321-330, 1990
- MACHADO, L. C. P., **Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. –2.ed. São Paulo : Expressão Popular, 2010. 376p.
- MARTEN, G.C.; SHENK, J.S.; BARTON, F.E. **Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)**. Washington: USDA, 1985. (Agriculture Handb., 643). 96p.
- MERTENS, D. R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: **Informational Conference with Dairy and Forages Industries**. 1996. p. 81-92.
- MORAES, E. H. B. K., PAULINO, M. F., ZERVOUDAKIS, J. T., VALADARES FILHO, S. D. C., & MORAES, K. D.. Avaliação qualitativa da pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf., sob pastejo, no período da seca, por intermédio de três métodos de amostragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.30-35, 2005.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B. de; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; LOPES, F.C.F; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.573-579, 2007.
- PAYNE, W. J. S. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. **Forest ecology and management**, v.12, p.1-36, 1985.
- PRIMAVESI, A.M.. **Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1984. 184 p.
- RODRIGUES, R. C.. **Métodos de análises bromatológicas de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos** / Ruben Cassel Rodrigues. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 177 p.
- SALMAN, A. K. D.; SOARES, JPG; CANESIN, R. C. **Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens**. Embrapa Rondônia. Circular Técnica, 2006.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. The application of Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In: FAHEY Jr., G.C. **Forage quality evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, p.406-449, 1994.
- SOARES, A. B., SARTOR, L. R., ADAMI, P. F., VARELLA, A. C., FONSECA, L., & MEZZALIRA, J. C.. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies

- forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.443-451, 2009.
- SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1029-1037, 2007.
- SOUTO, S.M.; ARONOVICH, S. **Sombreamento em forrageiras Aspectos Agronômicos e Microbiológicos**. Seropédica: EMBRAPA- CNPDS, 1992.43p.
- UNDERSTANDER, D. Uses and Abuses of NIR for Feed Analysis. Florida Ruminant Nutrition Symposium, 2006. Disponível em: <dairy.ifas.ufl.edu/rns/2006/Undersander.pdf>
- VAN SOEST, PJ van; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p. 3583-3597, 1991.
- WEISS, W.P. Estimating the availability energy content of feeds for dairy cattle. Symposium: energy availability. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.830-839, 1998.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos com o presente trabalho apontam para uma contribuição positiva do componente arbóreo presente nas pastagens tanto em termos de qualidade do solo quanto de produtividade e qualidade de forragem nas pastagens avaliadas.

Houve nos sistemas silvipastoris maior concentração de carbono orgânico e do teor de Mg do solo em relação à pastagem a pleno sol. Houve também tendência de elevação da CTC e da soma de bases nos sistemas silvipastoris. Tais resultados demonstram que o componente arbóreo pode contribuir com a nutrição das plantas em solos mais intemperizados, com acidez elevada e baixa fertilidade natural, principalmente por sua capacidade de promover a ciclagem de nutrientes.

As árvores dos sistemas silvipastoris proporcionaram também melhoria nos atributos físicos do solo. Sob influência das árvores, houve redução da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e da densidade relativa e elevação da porosidade total, bem como da macroporosidade. Estes são atributos de grande importância nos processos do ciclo hidrológico que envolvem o solo, pois estão diretamente relacionados à capacidade de infiltração de água, principalmente nas camadas mais superficiais. Além de influência nos atributos que se relacionam a infiltração de água no solo, houve também maior capacidade de retenção de água na pastagem arborizada em comparação à pastagem em monocultivo a pleno sol, o que se reflete na água disponível ao desenvolvimento da forragem, e conseqüentemente, na sua produtividade.

A melhor qualidade do solo, devido a influência das árvores, também refletiu em maior produtividade e qualidade das pastagens. A pastagem arborizada apresentou uma produtividade de matéria seca superior à pastagem em monocultivo e menor teor de matéria seca na biomassa, o que pode se refletir em forragens mais tenras e palatáveis para o consumo animal. Além de efeito sobre a matéria seca, a pastagem arborizada proporcionou maior teor de proteína bruta (PB) e menor teor de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), sendo esse último um dos principais limitantes ao consumo voluntário de forragem pelos animais. Houve também maior acúmulo de nutrientes nas forrageiras coletadas no sistema silvipastoril, demonstrando que essas forragens possuem potencial para melhor suprir as necessidades nutricionais dos animais no pastejo.

Diante dos resultados obtidos recomenda-se o uso de árvores em pastagens. Além dos efeitos aqui estudados, as árvores promovem uma série de relevantes serviços ecossistêmicos que não foram objeto do presente estudo.